

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV RADIOELEKTRONIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF RADIO ELECTRONICS

PŘEPOJOVACÍ MATICOVÉ POLE PRO AUDIOSIGNÁLY

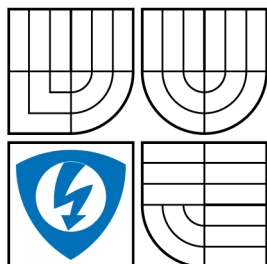
BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

VOJTĚCH DLUHÝ



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY
A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV RADIOELEKTRONIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND
COMMUNICATION
DEPARTMENT OF RADIO ELECTRONICS

PŘEPOJOVACÍ MATICOVÉ POLE PRO AUDIOSIGNÁLY AUDIO MATRIX-SWITCH

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

VOJTĚCH DLUHÝ

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

doc. Ing. JIŘÍ ŠEBESTA, Ph.D.

BRNO 2012



VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

Ústav radioelektroniky

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor
Elektronika a sdělovací technika

Student: Vojtěch Dluhý

ID: 134470

Ročník: 3

Akademický rok: 2012/2013

NÁZEV TÉMATU:

Přepojovací maticové pole pro audiosignály

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Provedte rozbor a návrh maticového pole 16×2 pro audiosignály řízeného mikroprocesorem přes USB. Dále uvažujte přizpůsobení vstupů a výstupu na linkovou úroveň. Navrhněte uživatelské rozhraní pro PC. Na základě rozboru provedte návrh elektronického zapojení včetně návrhu mechanického řešení a desek plošných spojů. Maticový přepínač osadte a oživte. Sestavte firmware pro mikroprocesor a aplikační software pro PC. Systém otestujte a specifikujte jeho parametry.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

[1] FRÝZA, T. Mikroprocesorová technika. Elektronické skriptum. Brno: FEKT, VUT v Brně, 2008.

[2] WIRSUM, S. Abeceda nf techniky. Praha: Ben - technická literatura, 2002.

Termín zadání: 11.2.2013

Termín odevzdání: 31.5.2013

Vedoucí práce: doc. Ing. Jiří Šebesta, Ph.D.

Konzultanti bakalářské práce:

prof. Dr. Ing. Zbyněk Raida
Předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

ABSTRAKT

Cílem této bakalářské práce je provést rozbor a návrh maticového přepojovacího pole pro audiosignály nejvyšší kvality pro použití v rozhlasovém studiu. Jednotlivé vstupy jsou nastavitelné a výstupy jsou přizpůsobené na linkovou úroveň, pro připojení k dalším zařízením. Celé maticové pole je ovládané osmibitovým mikropočítačem, který přes USB komunikuje s pracovní stanicí PC se systémem Windows, kde je spuštěn ovládací program. Ze všech těchto poznatků je vytvořeno elektrické schéma, návrh desek plošných spojů a mechanické řešení zařízení a zařízení je sestaveno.

KLÍČOVÁ SLOVA

maticové pole, přepínač

ABSTRACT

Target of this bachelor thesis is make analyse and concept of matrix for switching audio signals with best quality in radio station. Inputs are regulated and outputs are adjusted to line level for connecting with another devices. Matrix is controlled from PC over USB by microcontroller. From this findings is made electrical scheme, PCB a mechanic design of this equipment. Finally, device is constructed.

KEYWORDS

matrix, switch

DLUHÝ, Vojtěch *Přepojovací maticové pole pro audiosignály*: bakalářská práce. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav radioelektroniky, 2012. 56 s. Vedoucí práce byl doc. Ing. Jiří Šebesta, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma „Přepojovací maticové pole pro audiosignály“ jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této bakalářské práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a/nebo majetkových a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

Brno

.....

(podpis autora)

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval zejména vedoucímu semestrální práce panu doc. Ing. Jiřímu Šebestovi, Ph.D. za odborné vedení, konzultace, trpělivost a podnětné návrhy k práci. Dále pak všem, kteří mi udělovali během mé práce nejen rady, ale i pomocnou ruku.

Brno

.....

(podpis autora)

OBSAH

Úvod	10
1 Návrh obvodového zapojení	12
1.1 Požadavky	12
1.2 Blokové schéma	13
1.3 Výběr komponent	14
1.3.1 Volba přepínače	14
1.3.2 Volba ovládání	16
1.4 Zdroj	17
1.5 Úprava signálů	18
1.6 Varianta A	18
1.6.1 Řídící elektronika	19
1.6.2 Reléová sada	20
1.7 Varianta B	20
1.7.1 Řídící elektronika	20
1.7.2 Maticové pole	21
1.8 Srovnání variant	22
2 Řešení	23
2.1 Provedení elektroniky	23
2.1.1 Zdroj	23
2.1.2 Deska vstupních útlumových článků	24
2.1.3 Deska mikroprocesoru	24
2.1.4 Deska maticových polí	25
2.1.5 Deska symetrických výstupních zesilovačů	25
2.2 Mechanické provedení	26
3 Programové vybavení	29
3.1 Firmware	29
3.1.1 Popis FW	29

3.2	Software	31
3.2.1	Popis SW	31
4	Výsledky	34
4.1	Kmitočtová charakteristika	34
4.2	Fázová charakteristika	35
4.3	Přeslech mezi kanály L a R	36
4.4	Izolace mezi vstupy	37
4.5	Odstup rušivých signálů	38
4.6	Zkreslení THD+N	39
5	Závěr	41
	Literatura	43
	Seznam symbolů, veličin a zkratk	44
	Seznam příloh	45
A	Schéma zapojení napájecího zdroje	46
B	Schéma zapojení vstupních útlumových článků	47
C	Schéma zapojení řídicí elektroniky, varianta A	48
D	Schéma zapojení reléové matice, varianta A	49
E	Schéma zapojení polovodičové matice, varianta B	50
F	Schéma zapojení výstupních zesilovačů	51
G	Desky plošných spojů	52

SEZNAM OBRÁZKŮ

1.1	Blokové schéma	13
1.2	Příklad konektorového pole - hlavní přepojovač Čs. rozhlasu v Ostravě[1].	14
1.3	Útlumový článek pro -6 dBu, 0 dBu a +6 dBu na 193,75 mV.	18
1.4	Symetrický zesilovač.	19
2.1	Pohled shora.	27
2.2	Pohled zepředu.	27
2.3	Pohled zezadu.	28
3.1	Vývojový diagram hlavního programu FW.	29
3.2	Vývojový diagram přerušení. Vlevo od časovače, vpravo od USB ko- munikace.	30
3.3	Diagram časování.[3]	31
3.4	Hlavní okno programu.	32
3.5	Okno nastavení pojmenování vstupů.	33
4.1	Kmitočtová amplitudová charakteristika.	34
4.2	Fázová charakteristika.	35
4.3	Přeslech mezi levým a pravým kanálem.	36
4.4	Izolace mezi kanály dvou vstupů.	37
4.5	Odstup rušivých signálů.	38
4.6	Detailní zobrazení odstupů na kmitočtu 52 kHz.	39
4.7	Zkreslení při -6 dBu na vstupu.	40
4.8	Zkreslení při 12,4 dBu na vstupu.	40
G.1	Deska zdroje - rozmístění součástek.	52
G.2	Deska zdroje - bottom.	52
G.3	Deska útlumových článků - rozmístění součástek.	53
G.4	Deska útlumových článků - bottom.	53
G.5	Deska procesoru - rozmístění součástek.	54
G.6	Deska procesoru - top.	54
G.7	Deska procesoru - bottom.	54
G.8	Deska matice - rozmístění součástek.	55

G.9 Deska matice - top.	55
G.10 Deska matice - bottom.	55
G.11 Deska zesilovače - rozmístění součástek.	56
G.12 Deska zesilovače - top.	56
G.13 Deska zesilovače - bottom.	56

ÚVOD

Tato bakalářská práce se věnuje návrhu maticového přepínače pro spínání audiosignálů. Postupně se věnuje výběru vhodných spínacích prvků a jejich ovládání. Dále pak návrhu obvodového zapojení a DPS (deska plošných spojů). Tvorbě FW (firmware) mikropočítače a ovládacího SW (software) pro PC s operačním systémem Windows.

Zařízení je provedeno v plechové přístrojové skříni do Racku vysoké 1U. Obsahuje maticové přepínací pole symetrických audio signálů, mikropočítač, logické prvky a zdrojovou napájecí část. Rozebrány jsou dvě varianty provedení, reléová a polovodičová. Jednotlivé bloky jsou na DPS. Spínací matice, ať už tvořená relé nebo z polovodičových obvodů je nejrozměrnější. Přívod nf signálů je proveden přes útlumové články a dále k desce matice. Ovládání je zajištěno mikroprocesorem. Pro případ užití relé je potřeba je ovládat přes převodníky z binárního kódu na signál "1 z 16" a každý tento signál výkonově posílit pomocí spínače (tranzistoru). Ten zabraňuje poškození převodníku, který není schopen dodat proud potřebný pro sepnutí relé. Při použití polovodičových maticových polí jsou tato připojena přímo k výstupním portům mikrokontroléru. Mikroprocesor je řízen počítačovým programem vytvořeným v programovacím jazyku VisualC++. Tento program vysílá přes sběrnici USB do mikroprocesoru požadavky na sepnutí patřičných prvků matice. Mikrokontrolér zajišťuje i zjištění připojení k PC a spuštění obslužného SW, toto signalizuje pomocí LED. Přední panel obsahuje dvě LED, zobrazující přítomnost napájení a právě komunikaci s PC. Napájecí část obsahuje dvě napájecí větve. Větev 5 V pro napájení ovládací elektroniky a větev ± 12 V pro výstupní symetrické zesilovače.

Zadní panel přístroje obsahuje napájecí konektor pro přívod stejnosměrného napětí z externího síťového zdroje 15 V až 36 V. Dále čtyři 25-pinové konektory Cannon pro přívod vstupních nf signálů ze zdrojů a jeden 25-pinový Cannon pro výstup nf signálů k záznamovému zařízení a poslechovému systému.

Zařízení je řešeno jako symetrické, tudíž pro přívod každého kanálu vstupního i výstupního signálu je zapotřebí dvojice vodičů. Každý vstupní signál je na vstupu utlumen útlumovým článkem na úroveň přibližně 200 mV. Nepočítá se s častou

změnou připojených zařízení. Úroveň signálů jednotlivých výstupních sběrnic je na výstupu ze zařízení upravena na linkovou úroveň 1,5 V, pro zajištění kompatibility s počítačovou zvukovou kartou a poslechovým systémem.

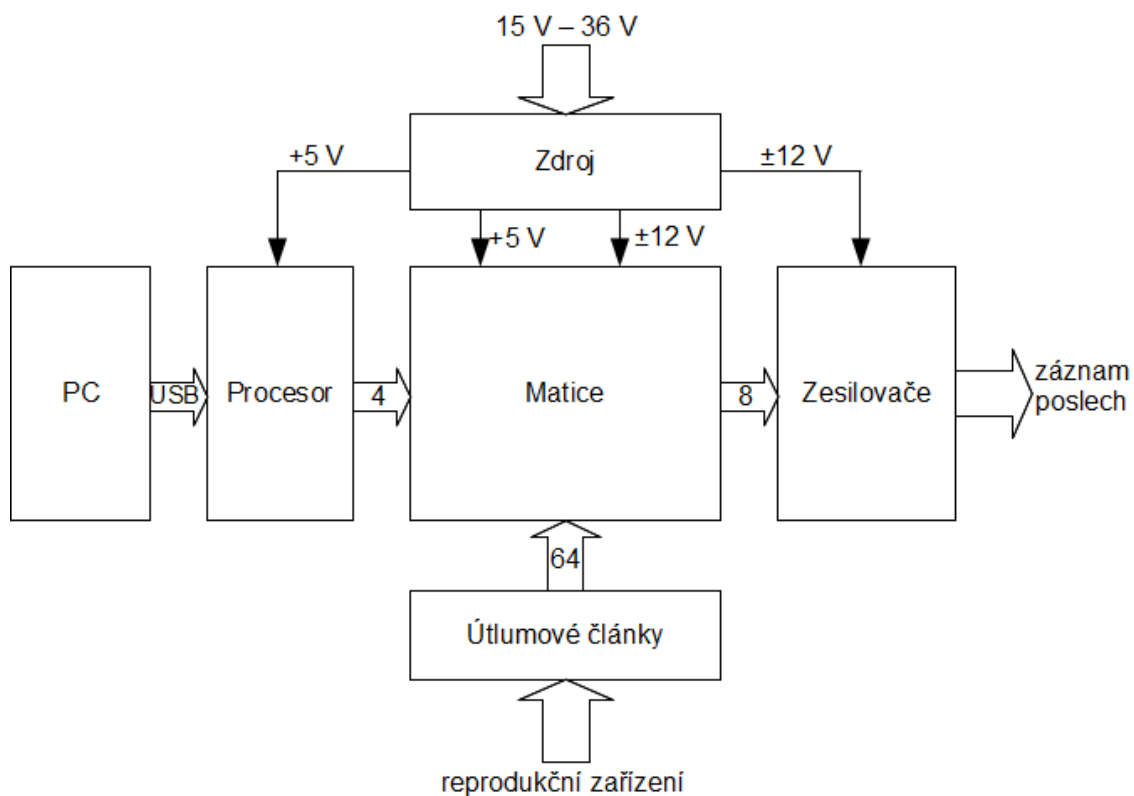
Celé zařízení je stereofonní, symetrické a je určeno pro pracoviště ZP1 (záznamové pracoviště) Českého rozhlasu Ostrava.

1 NÁVRH OBVODOVÉHO ZAPOJENÍ

1.1 Požadavky

- Vstupy: 16 stereofonních symetrických, vstupní impedance min. $10\text{ k}\Omega$
- Výstupy: 2 stereofonní symetrické, výstupní impedance max. $100\ \Omega$
- Přeslechy mezi neseprnutými vstupy a mezi kanály min. 80 dBu v akustickém pásmu
- Odstup od rušivých signálů min. 80 dBu
- Kmitočtová charakteristika 20 Hz – 20 kHz v pásmu 1 dB
- Vstupní citlivost vstupů volitelná vnitřně propojkou -6 dBu, 0 dBu, 6 dBu
- Výstupní úroveň 6 dBu
- Harmonické zkreslení THD max. 0,1%
- Mechanické provedení přístrojová skříň 19“ 1U
- Dvě samostatné vnitřní stereofonní sběrnice (záznam, poslech)
- Ovládání po stereofonních párech
- Komunikace s PC pomocí USB portu
- Řízení z PC pomocí SW aplikace, „přehledné“ grafické zpracování, možnost jednoduché změny popisu vstupů (např. v záložce sw. aplikace), možnost uzamčení navoleného nastavení, uzamčení popisů vstupů (pouze admin)
- Vstupy na zadním panelu - konektory CAN 25 pin
- Výstupy na zadním panelu - konektor CAN 25 pin
- Přední panel - kontrolka napájení a kontrolka komunikace s PC
- Napájení externí zdroj (trafo mimo zařízení, např. adaptér do zásuvky)

1.2 Blokové schéma



Obr. 1.1: Blokové schéma

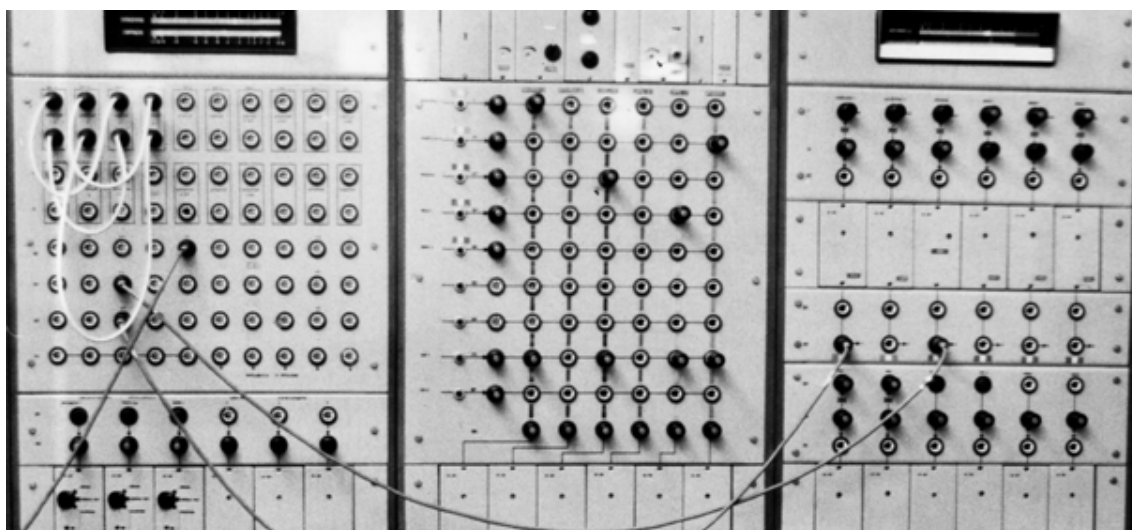
Zařízení komunikuje s PC přes USB rozhraní. Komunikaci zajišťuje mikrokontrolér, kteří řídí spínání matic. Vstupní signály jsou upraveny útlumovými články na jednotnou úroveň vhodnou ke zpracování. Po průchodu signálů maticemi jsou zpětně zesíleny na linkovou úroveň +6 dBu. Celé zařízení je napájeno ze zdroje tří napětí (+5 V a ± 12 V).

1.3 Výběr komponent

Před konstrukcí přepínače signálů je nutné navrhnout jeho hlavní prvky, samotné přepínací součástky, jejich ovládání a s tím spojené další náležitosti. Pro úsporu místa a jednoduchost konstrukce byla zvolena metoda povrchové montáže součástek (SMT).

1.3.1 Volba přepínače

Přepínání audiosignálů je možné principiálně rozdělit na mechanické, eletromechanické a elektronické.



Obr. 1.2: Příklad konektorového pole - hlavní přepojovač Čs. rozhlasu v Ostravě[1].

Mechanické spínače

Při mechanickém přepínání mohou vznikat rušivé akustické projevy (lupance, chrasnění apod.) nebo útlumy na přechodových odporech vzniklých oxidací kontaktů spínačů. Mechanické přepínání je možné provádět různými způsoby ať už samotným přepojováním konektorů v zařízeních, které je často značně nepohodlné z důvodu špatné dostupnosti panelu kde bývají konektory umístěny nebo propojováním zařízení pomocí konektorového propojovacího pole (tzv. Patch-bay). Další možností

je přepínání pomocí mechanických spínačů, které jsou umístěny na panelu a často představují svým rozložením právě matici, kterou přepínají, toto rozmístění je výhodné zejména pro zjednodušení kabeláže, kdy je možné propojit společné kontakty výstupních sběrnic bez vedení vodičů na velké vzdálenosti. Veškeré tyto možnosti přepínání však trpí výše zmíněnými neduhy. Příklad maticového konektorového pole je na obrázku 1.2.

Elektromechanické spínače (relé)

Další možností je přepínání elektromechanické, tedy soustavou relátek. Můžeme použít relátka obyčejná, čímž snížíme výslednou cenu zařízení, ale také jeho jakost (spolehlivost, kvalitu), jelikož tato relátka mohou na svých kontaktech oxidovat a tudíž vnášet do signálové cesty zbytečný útlum a nepříjemné akustické projevy. Použijeme-li relé jazýčková vakuová nebo hermetická, bude zařízení mnohonásobně spolehlivější. Bez přístupu vzduchu totiž nemohou kontakty oxidovat a tudíž se nemohou vyskytnout nechtěné rušivé efekty při spínání.

V kapitole 1.6 Varianta A je návrh maticového pole vytvořeného maticí hermetických relé, která jsou vhodná díky svým stabilním vlastnostem a vysoké spolehlivosti. Pro matici 16×2 stereofonních symetrických signálů je nutné použít 64 kusů dvoukontaktových relé.

Polovodičové spínače

Další možností je elektronický přepínač pomocí polovodičových součástek. Těmito mohou být tranzistory (bipolární i unipolární) nebo tyristory či další spínací součástky. Použití tyristorů je pro audio použití nevýhodné, pro své vlastnosti rozepínání při rovnosti potenciálu mezi vývody anoda-katoda. Spínání pomocí tranzistorů je v tomto ohledu daleko přijatelnější. Nevýhodou použití tranzistorů je jejich zbytkový proud při jejich uzavření, který zvyšuje hodnotu přeslechů mezi vstupy. A naopak musíme zajistit jejich úplné otevření aby nedocházelo ke zbytečným útlumům v signálové cestě. Pro účely spínačů jsou nejčastěji používány unipolární tranzistory technologie MOS, které mají v sepnutém stavu minimální úbytek napětí a skoro nulovou spotřebu díky velice nízkým proudům tekoucím do gate (báze) tranzistoru.

Mají však velké zbytkové proudy v zavřeném stavu a tudíž způsobují přeslechy mezi vstupy.

V posledních letech se využívají i polovodičová maticová pole integrovaná na čipu. Výrobce je např. firma Analog Devices, která vyrábí řadu takovýchto obvodů s různými parametry. Tyto obvody se liší velikostí matice (od 8×8 po 32×32), způsobem ovládání, mezním kmitočtem signálové cesty, doporučeným užitím (audio, video) a dalšími parametry. Pro jejich ovládání, ať už paralelní nebo sériové, je výhodné použít mikroprocesor, který zajistí vyslání patřičného datového slova, které zajistí propojení daných vstupů na výstupy. Pro navrhované zařízení je výhodné využít čtyři kusy obvodu AD8112, který obsahuje matici 16×8 , sériové i paralelní rozhraní a výstupní buffer se zesílením $G=2$ [3]. Toto řešení je použito v kapitole 1.7 Varianta B.

1.3.2 Volba ovládání

Relé je nutné udržovat v sepnutém stavu pomocí stálého napětí přivedeného na jeho cívkou. Při odpojení tohoto napětí relé odpadne. Proto je nutné jej napájet buďto spínači s aretací, ať už mechanickou nebo elektronickou, nebo elektronickým obvodem, který tuto funkci zajistí. Polovodičové integrované maticové pole má vlastní paměť pro zapamatování propojení vstupů s výstupy, která se plní sériovou či paralelní linkou.

Mechanické spínače

Mechanické spínače jsem zavrhnul pro jejich nespolehlivost a dnes i nedostupnost. V dnešní době totiž není možné pořídit perspektivní spínače umožňující vzájemnou aretaci (kdysi např. populární spínače ISOSTAT). Musel bych proto použít spínače bez aretace a doplnit je aretací elektronickou. Pro značnou rozsáhlost zapojení by musela být tato aretace řešena mikroprocesorem, který by musel být mnohavstupový. Při použití tlačítek by byla omezena možnost modifikace celého zařízení (např. přejmenování vstupů na panelu či případné doplnění funkcí). Ovládání polovodičové matice pomocí spínačů by bylo nemožné a obvod by musel obsahovat převodník, nejlépe mikrokontrolér pro převod do vhodného formátu a odeslání do paměti obvodu.

Proto bude celé zařízení ovládáno mikropočítačem z počítačové stanice pomocí jednoúčelového programu s GUI (grafické uživatelské rozhraní).

Ovládání mikropočítačem

Pro navrhované zařízení jsem se pro jednoduchost a univerzálnost zapojení rozhodl využít pro ovládání spínací matice mikropočítač. Při výběru mikropočítače je potřeba vybrat vhodný typ a to tak, aby nabízel veškeré možnosti, které pro naši aplikaci potřebujeme. Požadavky této aplikace jsou: USB připojení a potřebný počet výstupů pro ovládání. Tyto požadavky splňuje např. obvod PIC18F2455 [5] výrobce Microchip, který disponuje jednadvaceti I/O (vstupně/výstupní) branami, USB rozhraním a navíc A/D převodníkem, komparátory, generátorem PWM a dalšími pro tuto aplikaci nepotřebnými periferiemi. Mikroprocesor bude připojen pomocí USB k počítačové stanici se systémem Windows, na kterém bude spuštěno GUI, které bude obsluhovat výstupy mikropočítače.

1.4 Zdroj

Pro napájení zařízení je potřeba vytvořit napětí +5 V pro řídicí elektroniku a ± 12 V pro signálové obvody (zesilovače). Do zařízení je přivedeno min. 15 V z externího zdroje s maximálním proudovým zatížením 3 A. Z něj je spínaným stabilizátorem LM2576-5 [4] vytvořeno napětí +5 V s maximálním zatížením 3 A. Tento proud dostčuje pro obě zamýšlené varianty, jak pro polovodičovou matici, tak i pro matici relé. Dále je ze vstupního napětí dalšími obvody LM2576-12 vytvořeno napětí +12 V a -12 V. Záporné napětí je vytvořeno pomocí vhodného zapojení daného obvodu.

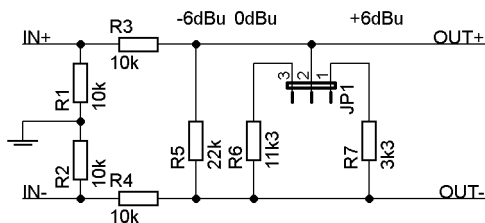
Spínaný stabilizátor jsem zvolil z důvodu menších ztrát při stabilizování z několikanásobně většího vstupního napětí, kdy by na lineárním stabilizátoru byl úbytek v řádu několika Voltů a při vyšším protékajícím proudu, by na stabilizátoru vznikla tepelná ztráta a potřeboval by masivní chladič. Vnitřní generátory obvodů LM2576 pracují na kmitočtu 52 kHz, který leží nad akustickým pásmem a nepředpokládá se možnost zarušení signálových audio cest.

Schéma zapojení je v příloze A.

1.5 Úprava signálů

Aby bylo zařízení úrovňově univerzální je na každém vstupu nastavitelný útlumový článek. Jeho zapojení je velice jednoduché a je zobrazeno na obr. 1.3. Obsahuje sedm odporů a jumpy pro jejich volbu. Vstupní impedanci určují rezistory R1 a R2. Dále jsou vždy zapojeny sériové rezistory R3 a R4 a paralelní rezistor R5. Takto můžeme na vstup připojit signál o úrovni -6 dBu ($\sim 0,3875$ V). Připojením rezistoru R6 budeme moci připojit zařízení s maximální výstupní úrovní 0 dBu ($\sim 0,775$ V). Po připojení rezistoru R7 můžeme na vstup přivést signál o úrovni +6 dBu ($\sim 1,55$ V). Odpovídající výstupní napětí tohoto děliče dosahuje vždy úrovně 193,75 mV. Ačkoli se tato hodnota může zdát docela nelogická, je výsledkem dělení hodnoty 0,3875V na polovinu. Signál o této úrovni prochází maticovým polem. Na výstupu je tento signál zesílen symetrickým zesilovačem na 1,5 V. Výstupní napětí je záměrně voleno o pár setin Voltu nižší než je linkové u profesionálních zařízení, aby nemohlo dojít k přebuzení vstupu zvukové karty počítače. Zaznamenaný signál bude vždy procházet následnou úpravou (stříh, úprava amplitudy apod.) tudíž není nutné stoprocentně dodržet výstupní úroveň. Zapojení zesilovače je na obr. 1.4.

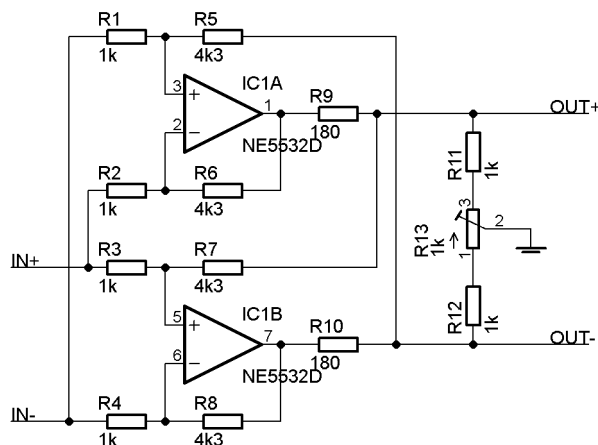
Kompletní schéma zapojení je připojeno v příloze B.



Obr. 1.3: Útlumový článek pro -6 dBu, 0 dBu a +6 dBu na 193,75 mV.

1.6 Varianta A

V první variantě jsem se rozhodl využít osvědčená elektromechanická relé typu FTR-B4 fy Fujitsu. Jsou napájena 5 V a obsahují dva přepínací kontakty [2].



Obr. 1.4: Symetrický zesilovač.

1.6.1 Řídící elektronika

Deska řídící elektroniky je umístěna na samostatné jednostranné desce plošných spojů. Srdcem celého zařízení je mikroprocesor od společnosti Microchip PIC18F2455, který disponuje 21 I/O porty, USB řadičem a dalšími periferiemi. Piny pro USB komunikaci procesoru jsou připojeny ke konektoru USB-B umístěném na zadním panelu přístroje. Pro zjednodušení obvodového zapojení je zvolen pro výstup z mikrokontroléru formát binárního kódu. Ovládací slovo tedy bude vyvedeno na čtyři piny (=šestnáct možných kombinací) výstupního portu, pro každou sběrnici zvlášť. Na výstupní port procesoru jsou připojeny dva převodníky z binárního kódu na "1 z 16".¹ Toto zapojení jsem zvolil z důvodu úspornější konstrukce než při použití procesoru s větším množstvím I/O bran, které jsou různě rozloženy na piny procesoru a navíc většina procesorů nemá všechny výstupní porty plně obsazené. Na výstupech převodníků jsou zařazeny spínací obvody ULN2805A, které zajistí po přivedení vstupního= řídicího signálu sepnutí patřičné dvojice relé. Místo těchto obvodů by bylo možno použít soustavu tranzistorů zajišťujících shodnou funkci, zapojení by však bylo komplikovanější. Posílení výstupů převodníku je nutné z důvodu spínání vždy dvou relé jedním výstupem, takový proud by převodník na svém výstupu nebyl schopen dodat a mohlo by dojít k jeho zničení. Na jedné výstupní bráně

¹Kód "1 z 16" znamená, že v závislosti na vstupním binárním čísle bude sepnut jediný patřičný výstup.

mikrokontroléru je připojena LED, která signalizuje fungující komunikaci mezi mikrokontrolérem a řídicí aplikací. Celá deska je napájena ze zdroje 5 V.

Schéma zapojení ovládací elektroniky je v příloze C.

1.6.2 Reléová sada

64 relé je zapojených ve dvojicích do matice 16×2 . Jelikož jsou signály symetrické, musí být použity vždy dvě relé se dvěma kontakty pro jeden vstupní stereo kanál, což vychází na 4 relé pro jedno vstupní zařízení. Relé jsou umístěna po čtveřicích na šestnácti samostatných DPS, které jsou následně ukotveny kolmo k základové desce, která zajišťuje rozvod zemního potenciálu a výstupních sběrnic. Vstupní signály jsou přivedeny z desky konektorů umístěné na zadním panelu přímo na piny u jednotlivých relé. Na další piny jsou také přivedeny ovládací signály. Umístění relé na samostatné desky a řešení zařízení jako symetrické jsou důvody pro snížení množství přeslechů mezi kanály a také pro zvýšení odstupu S/Š (signál - šum).

Schéma zapojení matice relé je uvedeno v příloze D.

1.7 Varianta B

V druhé variantě jsou použita polovodičová maticová pole na jednom čipu. Řadu těchto obvodů vyrábí společnost Analog Devices. Pro tuto aplikaci je nejvhodnější obvod AD8112, který obsahuje matici s 16 signálovými vstupy a osmi výstupy, sériovou a paralelní linkou pro nastavení spínačů matice a výstupním bufferem se zesílením $G = 2$. Obvod je napájen +5 V pro digitální část a ± 12 V pro část analogovou s odběrem do 50 mA.

1.7.1 Řídicí elektronika

Srdcem řídicí elektroniky je mikroprocesor PIC18F2455 fy Microchip, který je sběrnici USB připojen k počítači se systémem Windows a spuštěným ovládacím SW.

Maticová pole jsou řízena pomocí sériové datové linky a pomocných vodičů (CLK, UPDATE, RESET)².

1.7.2 Maticové pole

Celé maticové pole je tvořeno čtveřicí obvodů AD8112. Každý tento obvod obsahuje 16 vstupních a 8 výstupních signálových bran. Vstupy jsou chráněny paralelními diodami proti přepětí, čímž je dán maximální možný rozkmit napětí ± 3 V, který je dostatečný, jelikož vstupními obvody je signál utlumen na hodnotu 193,75 mV a na vstupu matice je tedy polovina této hodnoty (vztaženo k zemní svorce). Na výstupy matice jsou připojeny symetrické zesilovače, které zesílí symetrické signály tak, aby mohly být dále vedeny v linkové úrovni 1,5 V k záznamovému zařízení, kterým bude ve většině případů počítač. Úprava signálů je podrobně zmíněna v kapitole 1.5 Úprava signálů. Jedinou změnou, oproti výše uvedených úprav signálů, je snížení zesílení výstupních zesilovačů na polovinu, jelikož výstupní buffer obvodu AD8112 má zesílení $G=2$.

Schéma zapojení matice s využitím obvodů AD8112 je v příloze E.

²CLK - clock (hodinový signál)

1.8 Srovnání variant

Po návrhu obou variant je na řadě jejich srovnání a rozhodnutí pro směr pokračování vývoje aplikace.

Varianta A:

- + nižší pořizovací náklady
- + schopnost vést stejnosměrný signál
- + odolnost relé proti přepětí
- vyšší spotřeba
- možnost poruchy relé
- prostorové nároky

Varianta B:

- + nižší spotřeba
- + kompaktnější a jednodušší obvodové zapojení
- možnost poškození obvodu přepětím
- vyšší pořizovací náklady obvodů

Po porovnání obou variant jsem se rozhodl pro pokračování ve výrobě zařízení s použitím polovodičových integrovaných maticových polí.

2 ŘEŠENÍ

2.1 Provedení elektroniky

Veškerá elektronika je umístěna na jedno či oboustranných deskách plošných spojů, které jsou k sobě pospojovány kabely nebo na sebe navazují a jsou spojeny pouze pomocí konektorů. Na jednostranné desce je umístěn zdroj, který je konstruován pomocí tradičních vývodových (THT) součástek a také vstupní útlumové články, které jsou osazeny SMD součástkami s využitím jumperových kolíků pro nastavení útlumu. Zbylé desky jsou oboustranné a v SMT provedení, kromě propojovacích konektorů. Většinou jsou ze spodní strany DPS umístěny příčné sběrnice (napájecí, datové a výstupní) a některé propoje. Součástky jsou umístěny ze strany vrchní. Propojení zemí jednotlivých modulů na příčných sběrnicích je provedeno touto sběrnicí, spojení zemí ostatních modulů je provedeno vodičem připojeným konektory Faston, takto jsou propojeny vstupní útlumové články s chassis a deskou zdroje a zvláště pak výstupní konektor s deskou zesilovačů.

2.1.1 Zdroj

Pro napájení celého zařízení je zapotřebí trojice napětí. +5 V pro napájení digitální části, ke které patří mikroprocesor a řídicí obvody maticových obvodů. A ± 12 V pro napájení signálových částí, kterými jsou výstupní operační zesilovače a výstupní buffer maticových polí. Zdroj je konstruován na jednostranné desce s THT součástkami. Jedná se o tři samostatné spínané zdroje, které jsou schopny dodat až 3A, což je značně předimenzované, ale je tímto dosaženo prostor pro případnou úpravu zařízení nebo libovolné modifikace. Napájení je jištěno na výstupu z externího napáječe. Tento napáječ může mít výstupní napětí v rozsahu 15 V - 36 V, byť obvod LM2576[4] dovoluje vstupní napětí až 45V, je zde ponechána určitá ochranná rezerva. Zdroj je od ostatních částí odstíněn kovovou přepážkou, aby nedocházelo k rušení signálových obvodů, použité spínané stabilizátory pracují na kmitočtu 52 kHz, který je sice nad akustickým pásmem, ale přesto by mohlo dojít k rušení signálů, jelikož v zařízení nejsou žádné propusti pro užitečný signál.

Schéma je umístěno v příloze A a desky plošných spojů na obrázcích G.1 - G.2 přílohy G.

2.1.2 Deska vstupních útlumových článků

Aby bylo možno připojit k zařízení libovolné reprodukční zařízení jsou na vstupu umístěny vstupní útlumové články, které lze pomocí propojek nastavit pro přizpůsobení vstupních úrovní -6 dBu, 0 dBu nebo +6 dBu. Bez propojky je útlum připraven pro úroveň -6 dBu. Úprava úrovně se provádí změnou odporu mezi A a B vodiči vstupního signálu. Každý vstupní kanál lze nastavit samostatně. Tyto desky jsou v zařízení celkem čtyři, pro každou čtveřici vstupů, tedy jednu matici, zvlášť.

Schéma je umístěno v příloze B a desky plošných spojů na obrázcích G.3 - G.4 přílohy G.

2.1.3 Deska mikroprocesoru

Procesor je umístěn na první DPS příčné sběrnice a jsou k němu připojeny součástky nezbytné pro jeho správnou funkci, především krystalový oscilátor na kmitočtu 8MHz. Na desce procesoru jsou zleva umístěny konektory pro připojení obou LED a přívodu od napájecího zdroje. V dolní části je umístěn konektor pro připojení konektoru USB umístěného na zadním panelu krabice. Nad procesorem je konektor pro ICSP, pokud by byla potřeba v budoucnu změnit FW mikrokontroléru. A v pravé části desky je konektor pro připojení k následujícímu modulu, na tomto konektoru jsou vyvedena všechna tři napájecí napětí a datové vodiče. Tento modul je koncipován jako počáteční, na něj navazuje čtveřice modulů s maticovými obvody AD8112.

Schéma je umístěno v příloze E a desky plošných spojů na obrázcích G.5 - G.7 přílohy G.

2.1.4 Deska maticových polí

Obvody AD8112 jsou v provedení 100-Lead Low Profile Quad Flat Package [LQFP]¹, což značně zkomplikovalo návrh motivu desky plošných spojů, kde musí být umístěno značné množství prokůvů mezi vrchní a spodní stranou. Aby bylo dostatečně zabráněno případným přeslechům mezi kanály jsou cesty na obou stranách DPS pokud možno kolmé. Dále je nezbytné dodatečně filtrovat a blokovat napájecí napětí pro signálové obvody integrovaného obvodu. Pro ochranu obvodu jsou do každé napájecí větve každého modulu umístěny vratné pojistky PPTC² s hodnotou 100mA, které se při zvýšeném odběru proudu zahřejí a zvětší svůj odpor, čímž omezí proud tekoucí obvodem a po odstranění problému opět začnou proud vést.

V levé části DPS je umístěn konektor příčných sběrnic (audio, napájení a data), které jsou vedeny spodní stranou desky na pravou stranu, kde jsou opět vyvedeny na konektor pro připojení k dalšímu modulu. Pouze vodič DATA datové sběrnice je rozpojen a připojen mezi piny DATA IN a DATA OUT obvodu AD8112. V horní části DPS je konektor pro připojení vstupních signálů úrovně upravených vstupními útlumovými články. Desky matice jsou v zařízení celkem čtyři, jelikož obvod dokáže spínat 16×8 nesymetrických kanálů, což odpovídá 8×4 symetrických kanálů.

Schéma je umístěno v příloze E a desky plošných spojů na obrázcích G.8 - G.10 přílohy G.

2.1.5 Deska symetrických výstupních zesilovačů

Jako poslední modul na příčných sběrnicích je umístěna deska výstupních zesilovačů. Jejich funkcí je zesílení audiosignálů výstupních příčných sběrnic na linkovou úroveň 1,5 V. Takto zesílený signál je možno připojit k zařízení pro další zpracování, může jít o poslechový systém, počítač či libovolné záznamové zařízení. Použité operační zesilovače NE5532 jsou v symetrickém zapojení, jelikož celé zařízení je koncipováno

¹100-LQFP - jedná se o pouzdro fine-pitch, tedy s velkou hustotou vývodů, kterých je celkem 100, po všech čtyřech stranách.

²Polymeric Positive Temperature Coefficient device - polymerová součástka s pozitivním teplotním koeficientem, tzn. přizahřátí protékajícím proudem dojde ke zvětšení odporu

jako symetrické. Na výstupu každého zesilovače je proto trimr pro nastavení výstupní symetrie. Výstup ze zařízení je proveden pomocí 25-pinového konektoru Cannon.

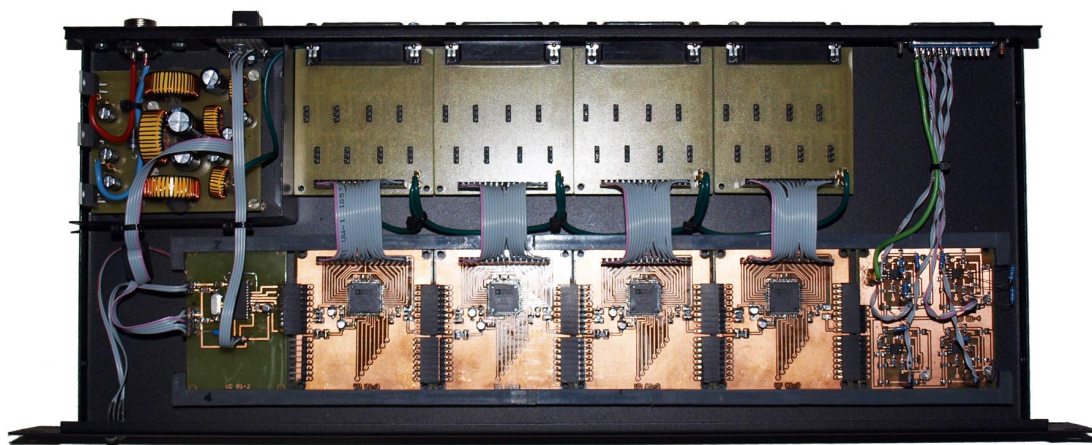
Schéma je umístěno v příloze F a desky plošných spojů na obrázcích G.11 - G.13 přílohy G.

2.2 Mechanické provedení

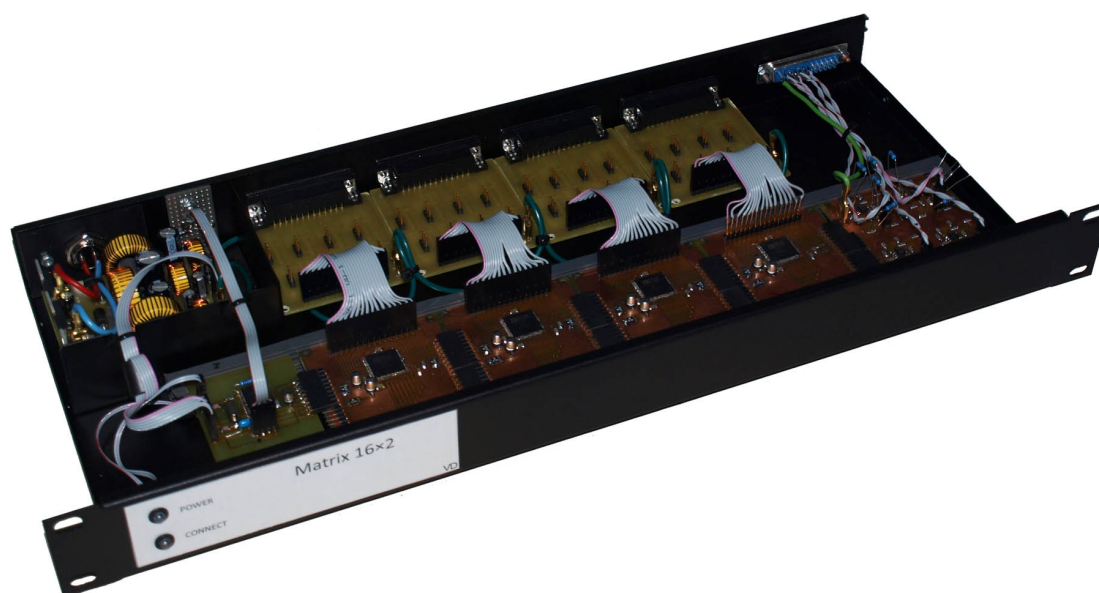
Zařízení je modulové konstrukce, tzn. že jednotlivé obvodové díly jsou umístěny na samostatných DPS. Celé zařízení je umístěno do kovové přístrojové krabice výšky 1U³ do racku 19". Deska zdroje je umístěna do rohu krabice a od zbytku zařízení oddělena stínící kovovou přepážkou. Vedle konektoru pro přívod napětí z externího zdroje je umístěn USB konektor pro připojení k PC. Desky se vstupními útlumovými články jsou přišroubovány pomocí konektorů k zadnímu panelu. Výstupy jsou na dalším konektoru D-SUB. DPS s procesorem, maticovými obvody a výstupními zesilovači jsou pomocí řadových konektorů připojeny k sobě a umístěny v přední části krabice. Pro zjednodušení konstrukce jsou desky matic, procesoru a zesilovačů umístěny v plastových kolejničkách, které jsou uzpůsobeny na délku všech modulů, a ty jsou přišroubovány ke dnu krabice. Na předním panelu jsou otvory pro dvě LED, které signalizují přítomnost napájení a připojení k PC.

Mechanické provedení a provedení panelů lze vidět na následujících fotografiích.

³1U = 1 unit = 1 × 1,75 palce = 44.45 mm



Obr. 2.1: Pohled shora.



Obr. 2.2: Pohled zepředu.



Obr. 2.3: Pohled zezadu.

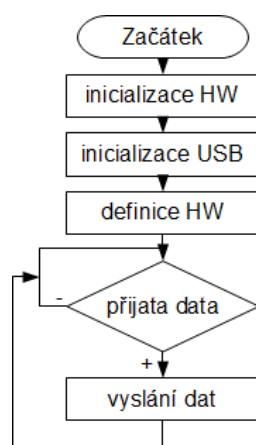
3 PROGRAMOVÉ VYBAVENÍ

3.1 Firmware

Před samotnou tvorbou FW jsem si musel nastudovat komunikaci přes USB. Program pro mikrokontrolér je psán v jazyce C. Z důvodu použití USB komunikace by byl program v jazyce symbolických adres Assembler velice složitý. Pro urychlení práce jsem využil ukázkové řešení programu s USB komunikací zveřejněného společností Microchip v rámci balíku řešení Microchip solutions[6], které jsem upravil do vhodného tvaru. Zdrojový kód je pro svou rozsáhlost umístěn na přiloženém CD.

3.1.1 Popis FW

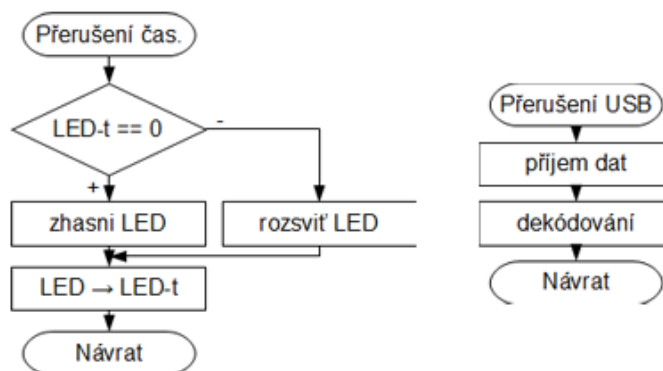
Při spuštění zařízení je mikrokontrolér inicializován do základního stavu. Jsou nastaveny jeho I/O porty, je nastavena USB komunikace. Dále mikrokontrolér pracuje v nekonečné smyčce, ve které nic neprovádí a čeká na přerušení. Přerušení jsou použita dvě, jednak přerušení od vnitřního časovače, který časuje přibližně jednu sekundu, a přerušení od USB komunikace. Vývojový diagram hlavního programu jsou na obr.3.1.



Obr. 3.1: Vývojový diagram hlavního programu FW.

Pokud časovač načasuje jednu sekundu dojde k přerušení, které vykoná podprogram pro ovládání LED indikující stav připojení. Ovládací SW totiž odesílá přibližně

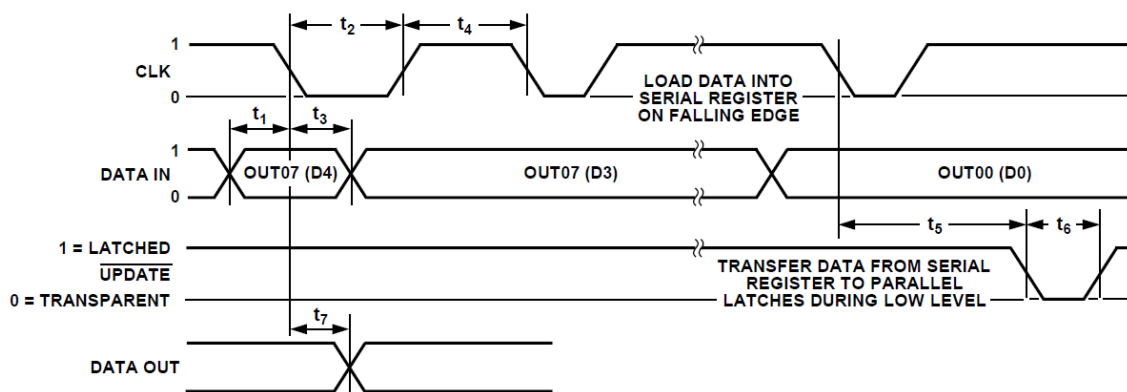
v intervalu jedné sekundy byte, kterým mikroprocesor rozpozná, že je ovládací SW spuštěn. Pokud nedojde k přijetí informace o spuštění SW LED na panelu zhasne. Vývojový diagram přerušení od časovače je na obr.3.2.



Obr. 3.2: Vývojový diagram přerušení. Vlevo od časovače, vpravo od USB komunikace.

Pokud dojde k přerušení od USB komunikace, začne procesor přijímat data vyslaná obslužným SW z počítače. Tato data obsahují požadavek na sepnutí příslušného spínacího prvku signálové matice zakódovaný v určitém binárním slově. Mikrokontrolér tento požadavek přijme a uloží do paměti. Po ukončení přerušení dojde ke skoku na podprogram, který provede přeložení příkazu přijatého od SW do bitové sekvence potřebné pro nastavení spínačů matic. Mikrokontrolér může přijmout celkem 32 takových příkazů (16 pro každou výstupní sběrnici). Výstupní bitová sekvence se skládá z 80 bitů pro každou matici a obsahuje 40 nul a dále 8×5 bitů pro každý výstupní vodič matice. 40 nulových bitů obsahuje z důvodu kompatibility s obvody, které mají 16 výstupů. Každý pětice bitů obsahuje číselné označení vstupu, který má být k danému výstupu připojen ($0 = 0000$, $1 = 0001$, ..., $15 = 1111$) a bit Enable, jehož funkcí je zapnout či vypnout výstupní buffer. Po vytvoření daného 320-bitového slova je toto slovo vysláno sériovou linkou z procesoru. Zároveň se vysílá hodinový signál CLK, jelikož maticový obvod provede zápis při jeho sestupné hraně. Po vyslání všech bitů dojde k aktivaci signálu UPDATE, který přepíše v maticích uložená data na výstup (dojde tedy k sepnutí). Na obrázku 3.3 lze vidět

časové sledy jednotlivých datových vodičů[3] a na obr.3.2 lze vidět vývojový diagram přerušení od číselníku.



Obr. 3.3: Diagram časování.[3]

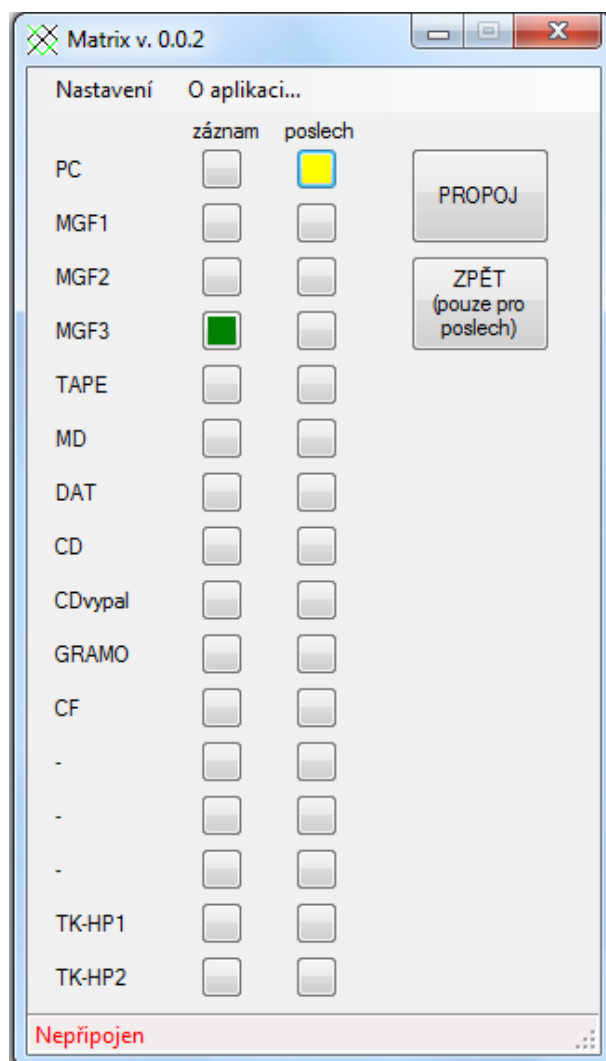
3.2 Software

Ovládací program slouží k obsluze celého zařízení a nastavení sebe sama. Hlavní funkcí je ovládání matice, kdy výběrem vstupu na příslušné sběrnici a následným stiskem tlačítka dojde k propojení příslušných vstupů s výstupy. Další funkcí je režim administrace, resp. nastavení, kdy je možno konfigurovat názvy vstupů. Zdrojový kód je umístěn na přiloženém CD.

3.2.1 Popis SW

Ovládací program je grafický pro systém Windows. Je tvořen jedním aplikačním oknem s ovládací maticí a příkazovou lištou, kterou se lze dostat k nastavení programu.

Při startu programu se spustí okno (obr. 3.4) sloužící k ovládání zařízení. Okno je rozděleno do matice 16×2 polí, které slouží k přepínání jednotlivých vstupů k výstupům. Po stisku tlačítka vstupu se toto zbarví do žluta a po stisku tlačítka "Propoj" se zbarví do zelena, jako právě sepnuté. Stiskem tlačítka "Propoj" dojde k vyslání příkazu do zařízení, kde mikroprocesor provede jeho přeložení a nakonfigurování matic. Program umožňuje pro druhou (poslechovou) sběrnici funkci vrátit se



Obr. 3.4: Hlavní okno programu.

o jeden krok zpět. Toho lze využít například při porovnávání poslechu mezi původním záznamem a přepisovaným záznamem na výstupu z PC. Ve stavovém řádku lze vyčíst, zda je zařízení připojeno či nikoliv. Tutéž funkci má LED na čelním panelu zařízení.

Stiskem tlačítka "Nastavení" a po zadání vstupního hesla se spustí okno, které slouží k nastavení programu. V programu lze nastavit pojmenování jednotlivých vstupů, což dovoluje variabilně modifikovat zařízení dle potřeby. Tyto informace jsou uloženy v externím souboru set.txt, který ovšem bude uschován u spouštěcího souboru, který bude mít zástupce na ploše systému Windows, tudíž nebude uživateli jednoduše dostupný. Okno nastavení je na obrázku 3.5.

Nastavení

Změna hesla
Nové heslo:
heslo

Potvrd'
Stomo

Pojmenování vstupů a výstupů

Vstupy :

1	PC	9	CDvypal
2	MGF1	10	GRAMO
3	MGF2	11	CF
4	MGF3	12	-
5	TAPE	13	-
6	MD	14	-
7	DAT	15	TK-HP1
8	CD	16	TK-HP2

Výstupy :

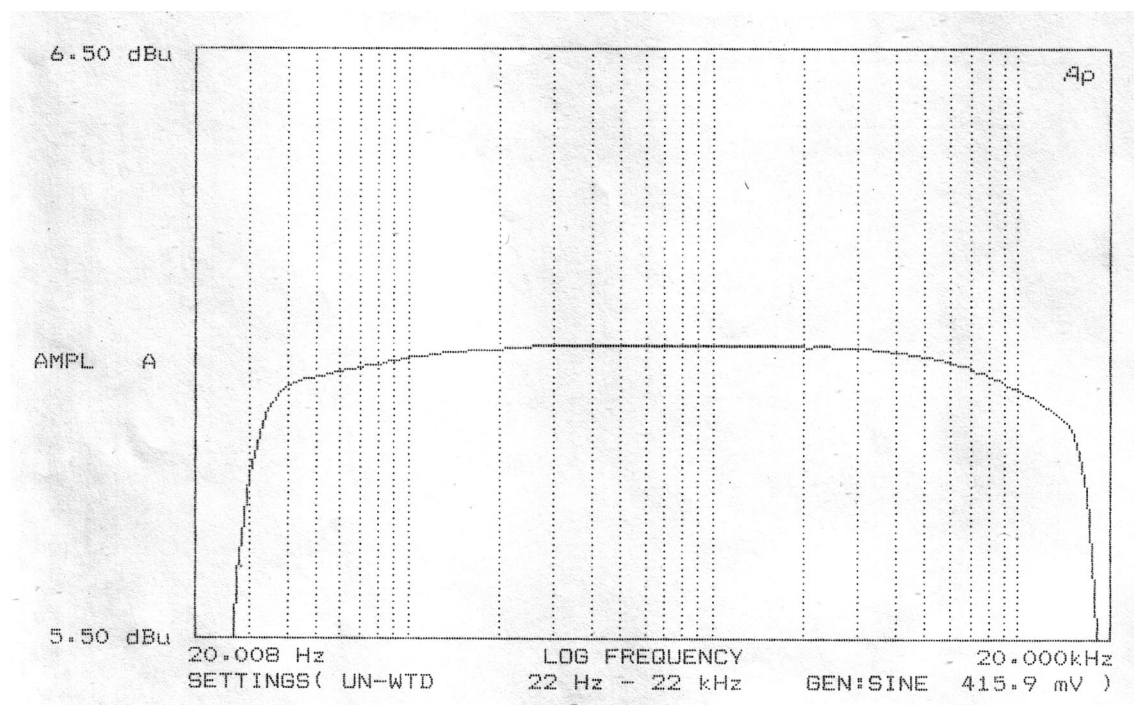
A	záznam	B	poslech
---	--------	---	---------

Obr. 3.5: Okno nastavení pojmenování vstupů.

4 VÝSLEDKY

Po sestavení a oživení zařízení a naprogramování procesoru přišla řada na měření parametrů. Zde bych chtěl poděkovat pracovníkům Českého rozhlasu Ostrava za zapůjčení měřicího přístroje Audio Precision Portable one. Tento přístroj umožňuje snad veškerá měření z oblasti audiotechniky a zároveň jejich tisk na připojené tiskárně. Tyto výsledky jsou použity v této kapitole.

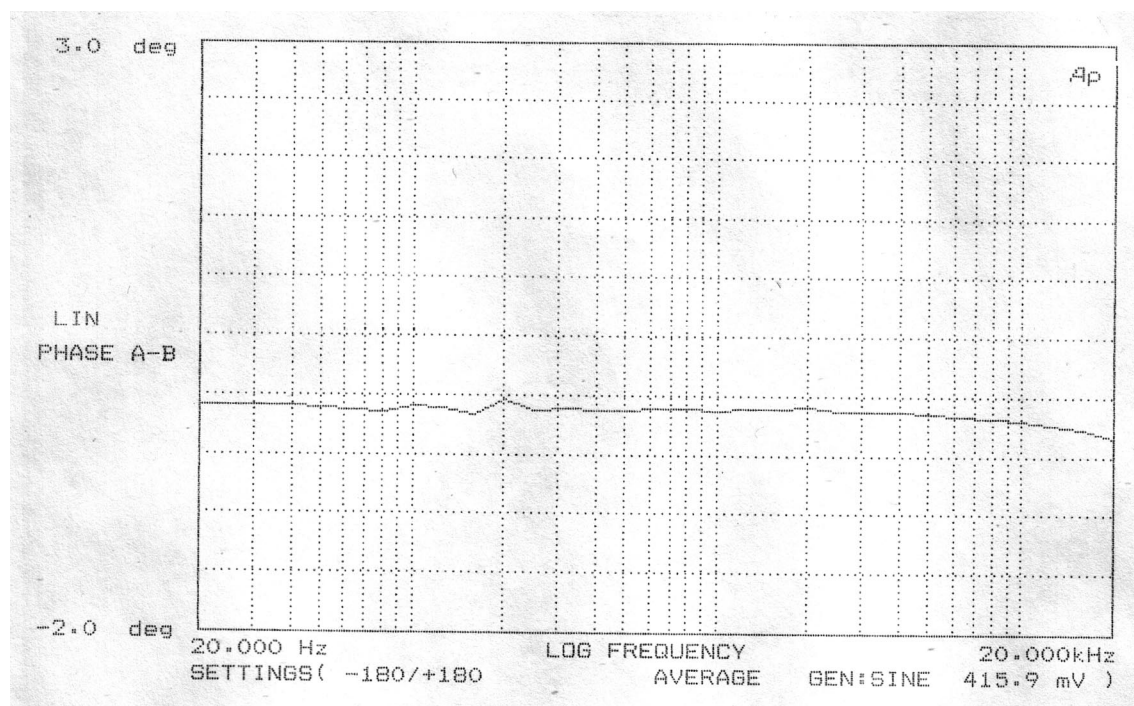
4.1 Kmitočtová charakteristika



Obr. 4.1: Kmitočtová amplitudová charakteristika.

Ze změřené charakteristiky lze vysledovat, že zařízení má kmitočtovou charakteristiku v pásmu 26 Hz až 19 kHz vyrovnanou v mezích 1 dB.

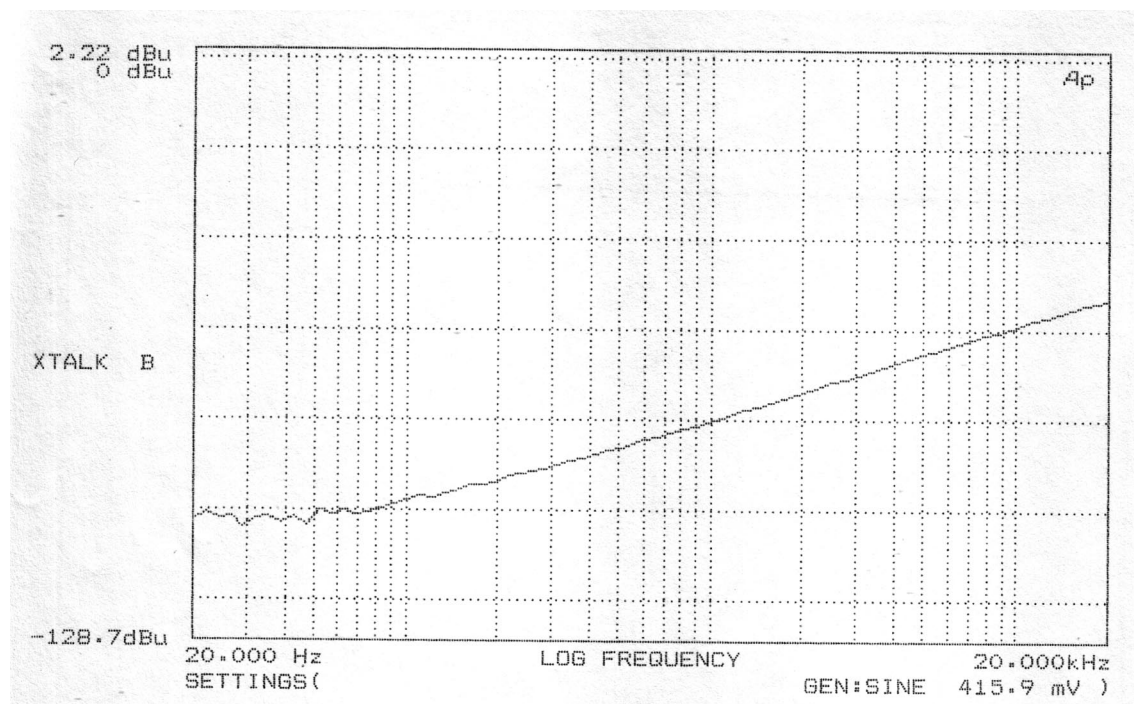
4.2 Fázová charakteristika



Obr. 4.2: Fázová charakteristika.

Z fázové charakteristiky měřené mezi kanály L a R prvního vstupu lze pozorovat jejich nepřesnost v řádu desetin procenta, což je naprosto zanedbatelné. Při kmitočtu 1kHz a úrovni vstupního signálu činil posun fáze 0,1%.

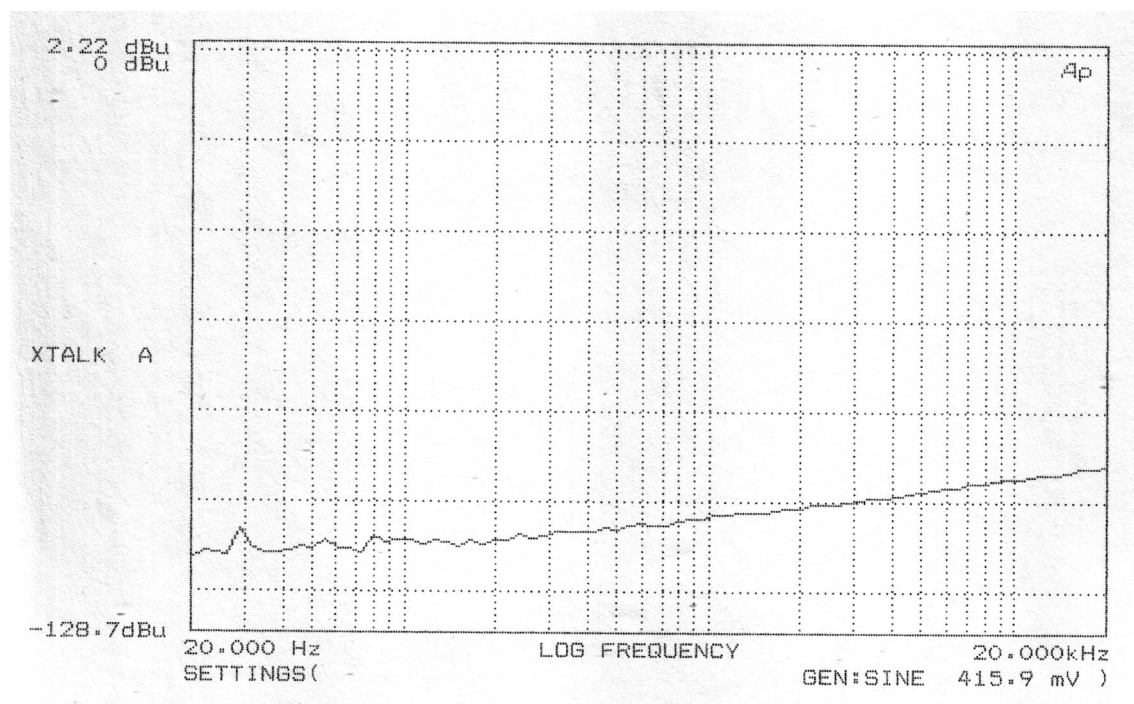
4.3 Přeslech mezi kanály L a R



Obr. 4.3: Přeslech mezi levým a pravým kanálem.

Přeslech mezi kanály jednoho vstupu se při kmitočtu 1 kHz a s úrovni -6dBu na vstupu pohyboval na hodnotě -80,42 dBu. S rostoucím kmitočtem přeslechy rostly, což je v souladu s údaji v katalogovém listě obvodu AD8112[3].

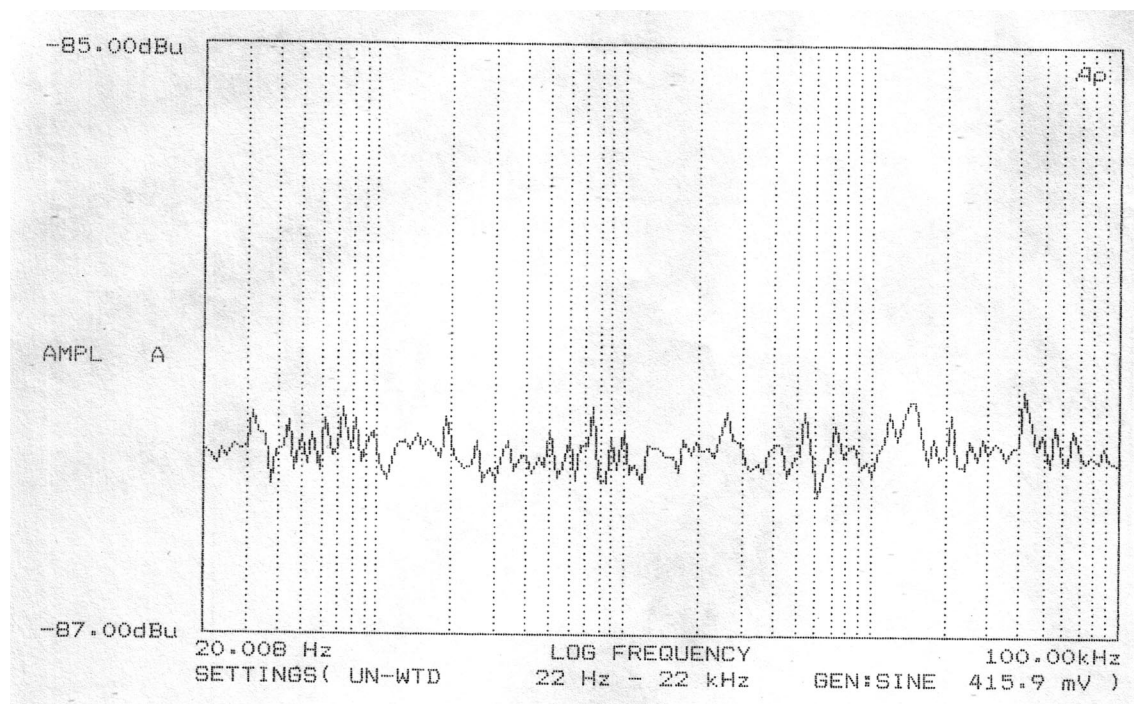
4.4 Izolace mezi vstupy



Obr. 4.4: Izolace mezi kanály dvou vstupů.

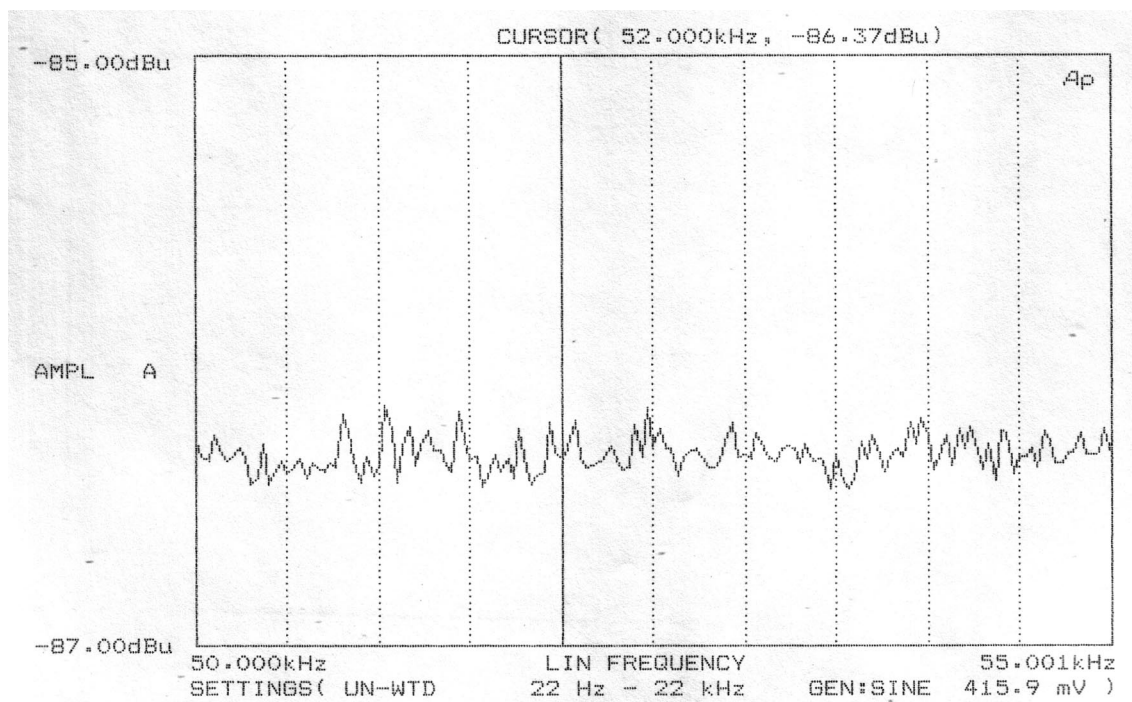
Pro toto měření byl generátor připojen k jednomu z kanálů druhého vstupu. Zatímco tentýž kanál prvního vstupu byl odpojen od generátoru, propojen na výstup a měřen. Hodnota izolace mezi vstupy při kmitočtu 1 kHz a úrovni -6 dBu činila -108,3 dBu.

4.5 Odstup rušivých signálů



Obr. 4.5: Odstup rušivých signálů.

Odstup od rušivých signálů se v rozsahu 20 Hz až 100 kHz pohyboval v okolí -86,4 dBu. Rozsah do 100 kHz byl zvolen pro ujištění, jestli se oscilační kmitočet stabilizátorů nepřenáší do signálových cest. V detailním grafu na obrázku 4.6 lze pozorovat, že v místě kurzoru (52 kHz) není rušení nijak zvýšené a tedy odstup nižší.

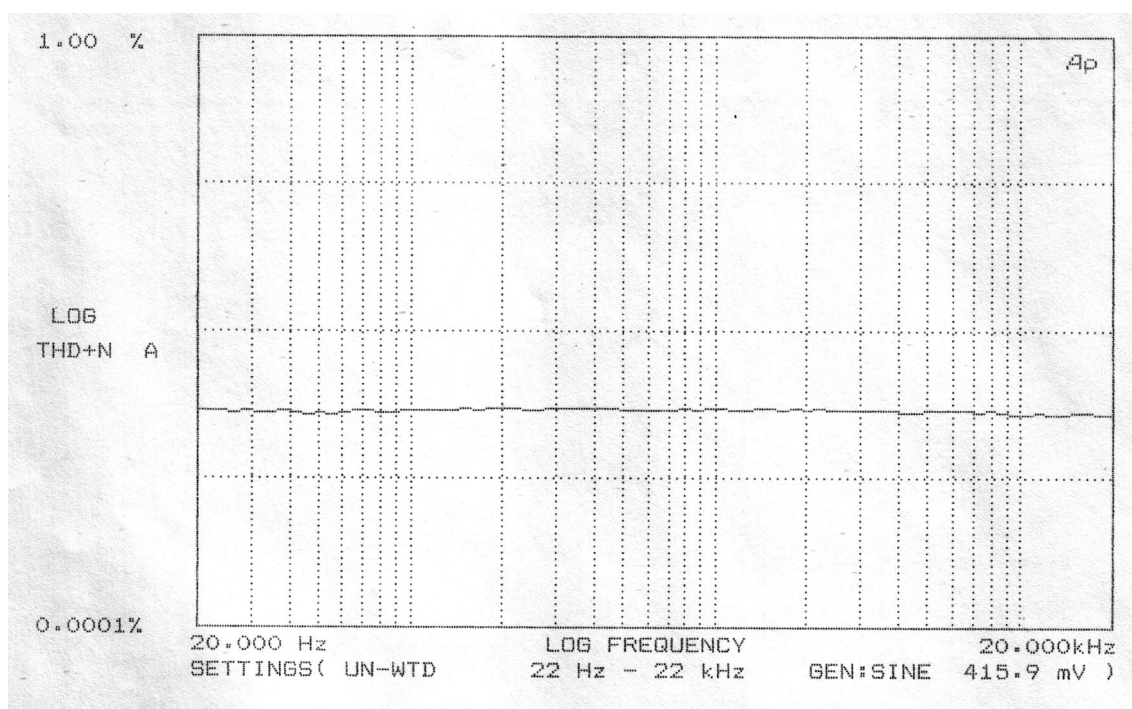


Obr. 4.6: Detailní zobrazení odstupů na kmitočtu 52 kHz.

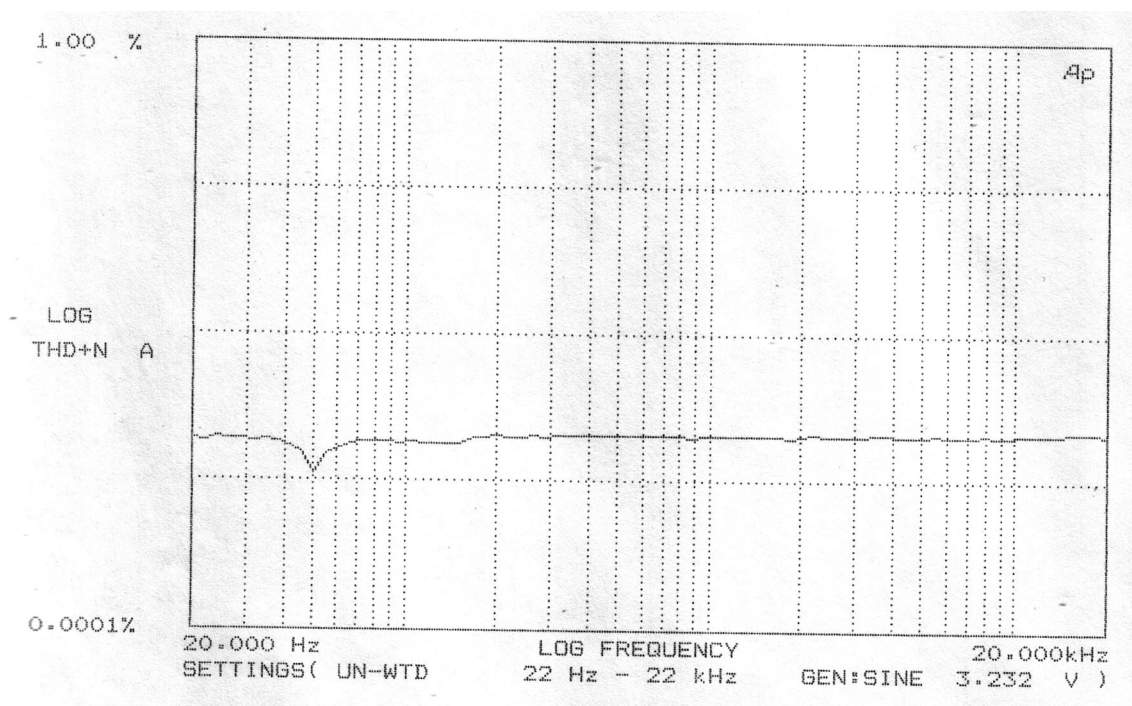
4.6 Zkreslení THD+N

Při napěťové úrovni na vstupu -6 dBu ($\sim 0,3875$ V), čemuž odpovídá 6 dBu na výstupu, bylo naměřeno zkreslení 0,0019%. Viz obrázek 4.8.

Při vstupní úrovni 12,4 dBu ($\sim 3,232$ V), která již těsně předcházela limitaci výstupního zesilovače byla výstupní úroveň 23,8 dBu ($\sim 11,998$ V). A výstupní signál vykazoval zkreslení 0,0028%. Zařízení má tedy až deseti násobnou přebuditelnost. Viz obrázek 4.6.



Obr. 4.7: Zkreslení při -6 dBu na vstupu.



Obr. 4.8: Zkreslení při 12,4 dBu na vstupu.

5 ZÁVĚR

Cílem mé bakalářské práce bylo navrhnout, sestrojít a oživit přepojovací maticové pole pro audiosignály s využitím v profesionálních podmínkách Českého rozhlasu Ostrava. Požadavky na kvalitu a jakost tedy jsou kladeny docela vysoko. Zařízení je koncipováno jako plně stereofonní a symetrické.

Navrhnul jsem dvě varianty, jedna obsahovala matici relé, zatímco druhá moderní polovodičové integrované spínací matice. Po srovnání obou variant jsem se rozhodl pro zkonstruování druhé varianty.

Zařízení v rackové krabici výšky 1U ($=44,43$ mm) je napájeno z externího napáječe 15 V až 36 V. Zařízení má dále vlastní spínaný zdroj, který vytváří napětí potřebná pro jeho činnost, ta jsou $+5$ V a ± 12 V. Celé maticové pole je řízeno z PC přes USB. Řízení na straně matice zařizuje mikrokontrolér PIC18F2455 fy Microchip, který disponuje integrovaným USB řadičem. Ten z PC přijímá informace o propojení vstupů k výstupům, následně je překládá do 320-bitového výstupního slova a řídí jím čtyři maticové obvody AD8112 fy Analog Devices. Maticové obvody jsou na samostatných deskách plošných spojů, čímž je zajištěna jednoduchá výměna v případě poruchy či poškození některého z těchto obvodů. Vstupní signály jsou k těmto obvodům ze vstupních konektorů D-Sub přivedeny přes útlumové články, kterými lze nastavit vstupní úroveň na -6 dBu, 0 dBu nebo $+6$ dBu. Tím je zajištěna univerzálnost tohoto zařízení a lze tedy k němu připojit jak profesionální tak komerční reprodukční zařízení. Po průchodu signálu maticemi je před výstupem ze zařízení opět zesílen na linkovou úroveň $+6$ dBu, kvůli zajištění kompatibility se záznamovými zařízeními, především zvukovou kartou počítačové stanice.

Zařízení je ovládáno z PC přes USB rozhraní. Software pro počítač je navržen jednoduše. V hlavním okně lze přepínat matici šestnácti vstupů do dvou výstupů a využít funkci Zpět pro druhou (poslechovou) sběrnici. V dalším okně, které je přístupné po zadání vstupního hesla, lze nastavit pojmenování vstupů a výstupů zobrazených v okně programu. Tyto názvy jsou uloženy v externím souboru umístěném ve složce se spouštěcím souborem programu.

Po sestrojení a oživení zařízení a naprogramování mikrokontroléru jsem naměřil

pomocí měřicího přístroje Audio Precision portable one tyto parametry:

- kmitočtový rozsah 20 Hz - 19 kHz v toleranci 1 dB,
- fázový posuv mezi kanály L a R -0,1% při kmitočtu 1 kHz,
- přeslech mezi kanály L a R -80,4 dBu při kmitočtu 1 kHz a vstupní úrovni -6 dBu,
- izolace mezi vstupy -108,3 dBu při signálu o kmitočtu 1 kHz a úrovni -6 dBu na vstupu nepřipojeném k výstupu,
- odstup rušivých napětí -86,4 dBu pro pásmo kmitočtů od 20 Hz do 100 kHz, s detailem na spínaný zdroj, jehož oscilátor kmitá na frekvenci 52 kHz, neprojevuje se,
- a zkreslení THD+N 0,0019% na kmitočtu 1 kHz při vstupním signálu -6 dBu, resp. 0,0028% při totožném kmitočtu avšak úrovni 12,4 dBu, která již hraničí s přebuzením výstupních zesilovačů.

Zařízení tedy splnilo požadavky a bude uvedeno do provozu v Záznamovém pracovišti ZP1 Českého rozhlasu Ostrava.

LITERATURA

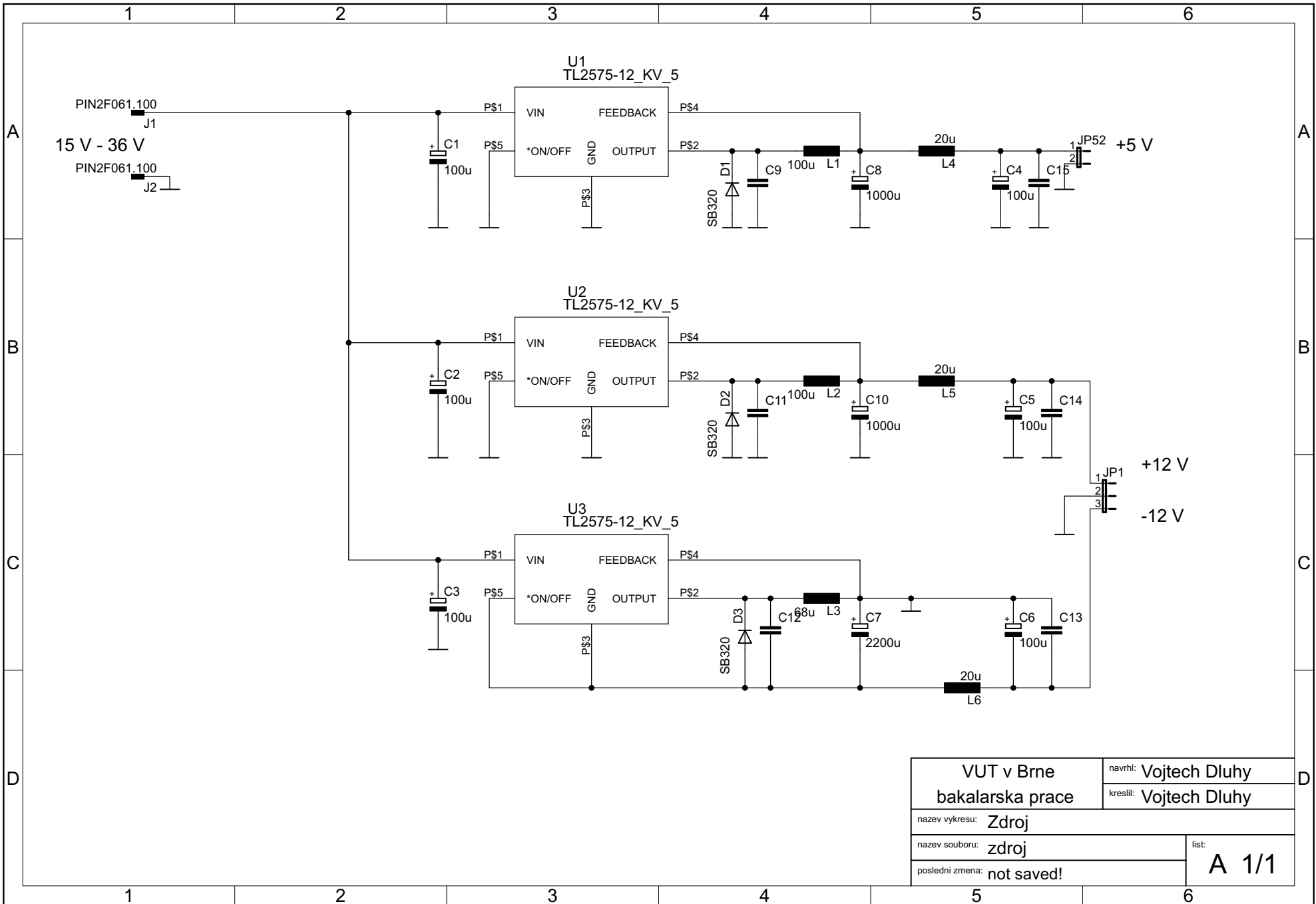
- [1] Archiv Českého rozhlasu Ostrava. Autor neznámý.
- [2] Katalogový list součástky : relé FTR-B4, výrobce : Fujitsu. [online]. [cit. 24. 5. 2013]. Dostupné z URL: <<http://www.fujitsu.com/downloads/MICRO/fcai/relays/ftr-b4.pdf>>.
- [3] Katalogový list součástky : AD8112, výrobce : Analog Devices. [online]. [cit. 24. 5. 2013]. Dostupné z URL: <http://www.analog.com/static/imported-files/data_sheets/AD8112.pdf>.
- [4] Katalogový list součástky : LM2576, výrobce : Texas Instruments. [online]. [cit. 24. 5. 2013]. Dostupné z URL: <<http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm2576.pdf>>.
- [5] Katalogový list součástky : PIC18F2455, výrobce : Microchip. [online]. [cit. 24. 5. 2013]. Dostupné z URL: <<http://ww1.microchip.com/downloads/en/devicedoc/39632c.pdf>>.
- [6] Microchip Solutions v2013-02-15, výrobce : Microchip. [online]. [cit. 27. 5. 2013]. Dostupné z URL: <<http://ww1.microchip.com/downloads/en/softwarelibrary/microchip-application-libraries-v2013-02-15-windows-installer.exe>>.

SEZNAM SYMBOLŮ, VELIČIN A ZKRATEK

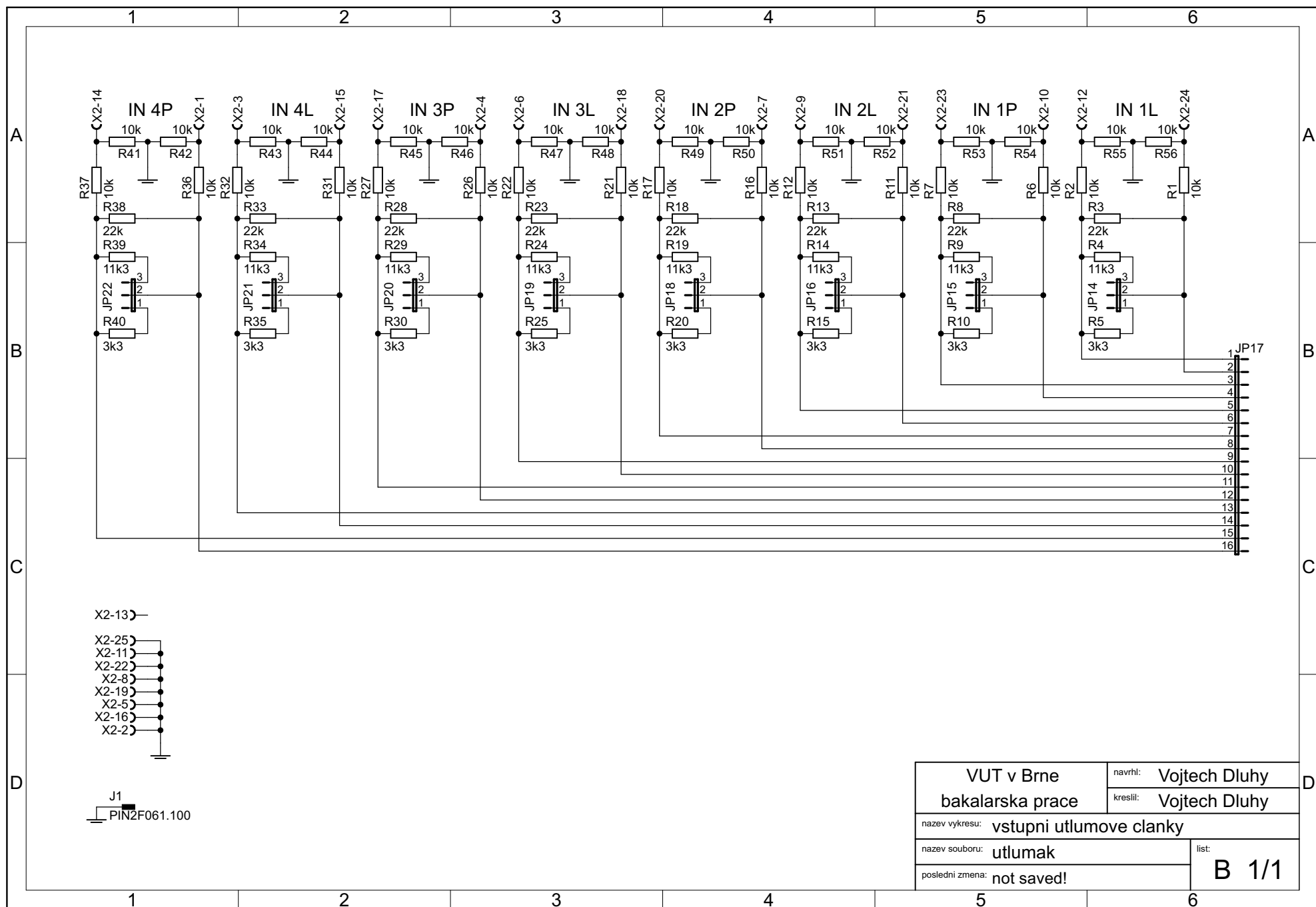
DPS	deska plošných spojů
FW	firmware
GUI	grafické uživatelské rozhraní
ICSP	In Circuit Serial Programming - sériové programování v obvodu (bez potřeby vkládat procesor do programátoru)
I/O	vstupně/výstupní
IO	integrovaný obvod
LED	svítivá dioda
PPTC	Polymeric Positive Temperature Coefficient device - polymerová součástka s pozitivním teplotním koeficientem
S/Š	signál - šum
SMT	Surface Mount Technology - technologie povrchové montáže
SW	software
THD	Total Harmonic Distortion - celkové harmonické zkreslení
THT	Thru Hole Technology - technologie použití vývodových součástek
USB	Universal Serial Bus - univerzální sériová sběrnice
ZP1	záznamové pracoviště
<i>dBu</i>	dB (decibel) vztažený k výkonu 1 μ W při impedanci 600 Ω

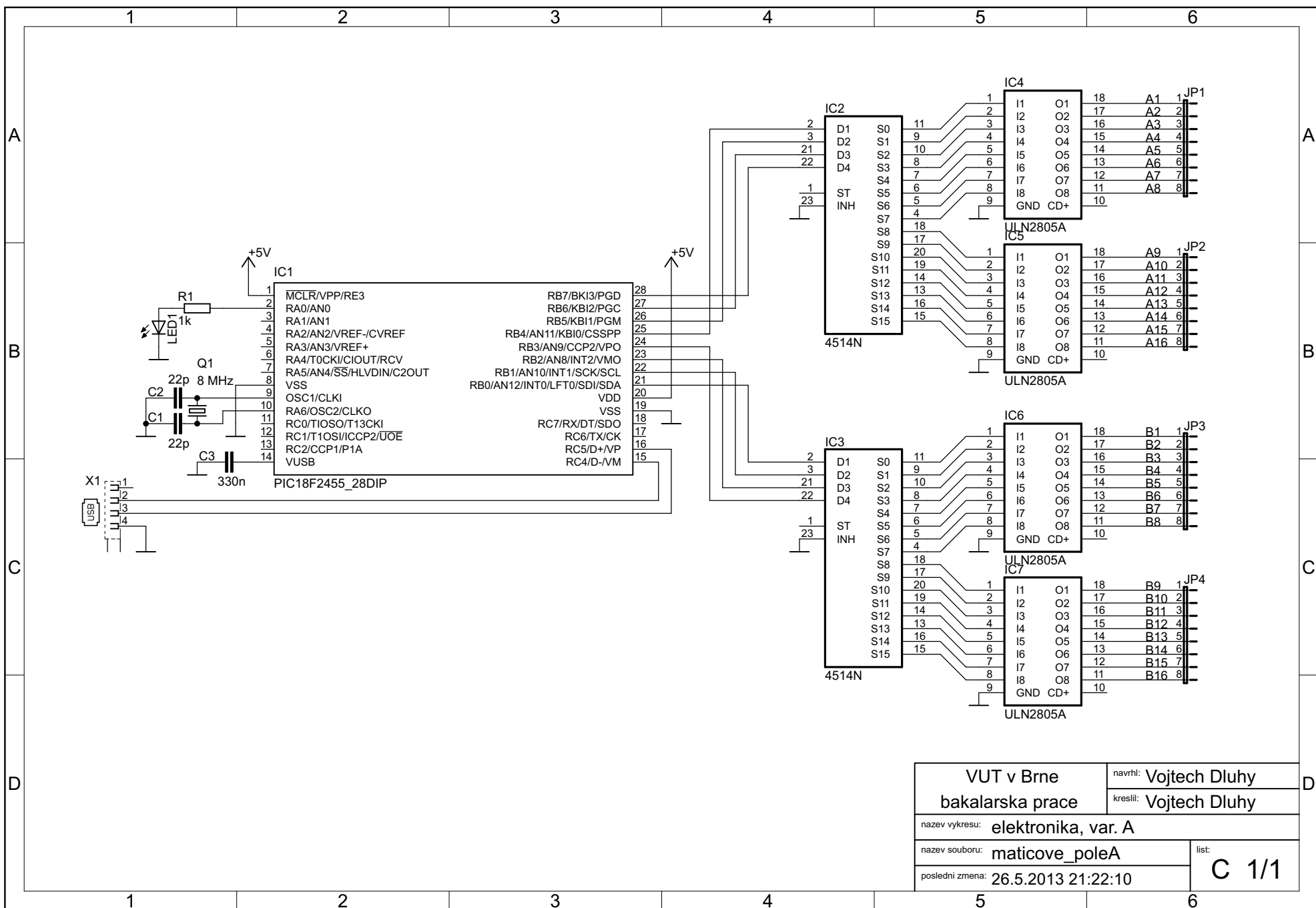
SEZNAM PŘÍLOH

A	Schéma zapojení napájecího zdroje	46
B	Schéma zapojení vstupních útlumových článků	47
C	Schéma zapojení řídicí elektroniky, varianta A	48
D	Schéma zapojení reléové matice, varianta A	49
E	Schéma zapojení polovodičové matice, varianta B	50
F	Schéma zapojení výstupních zesilovačů	51
G	Desky plošných spojů	52

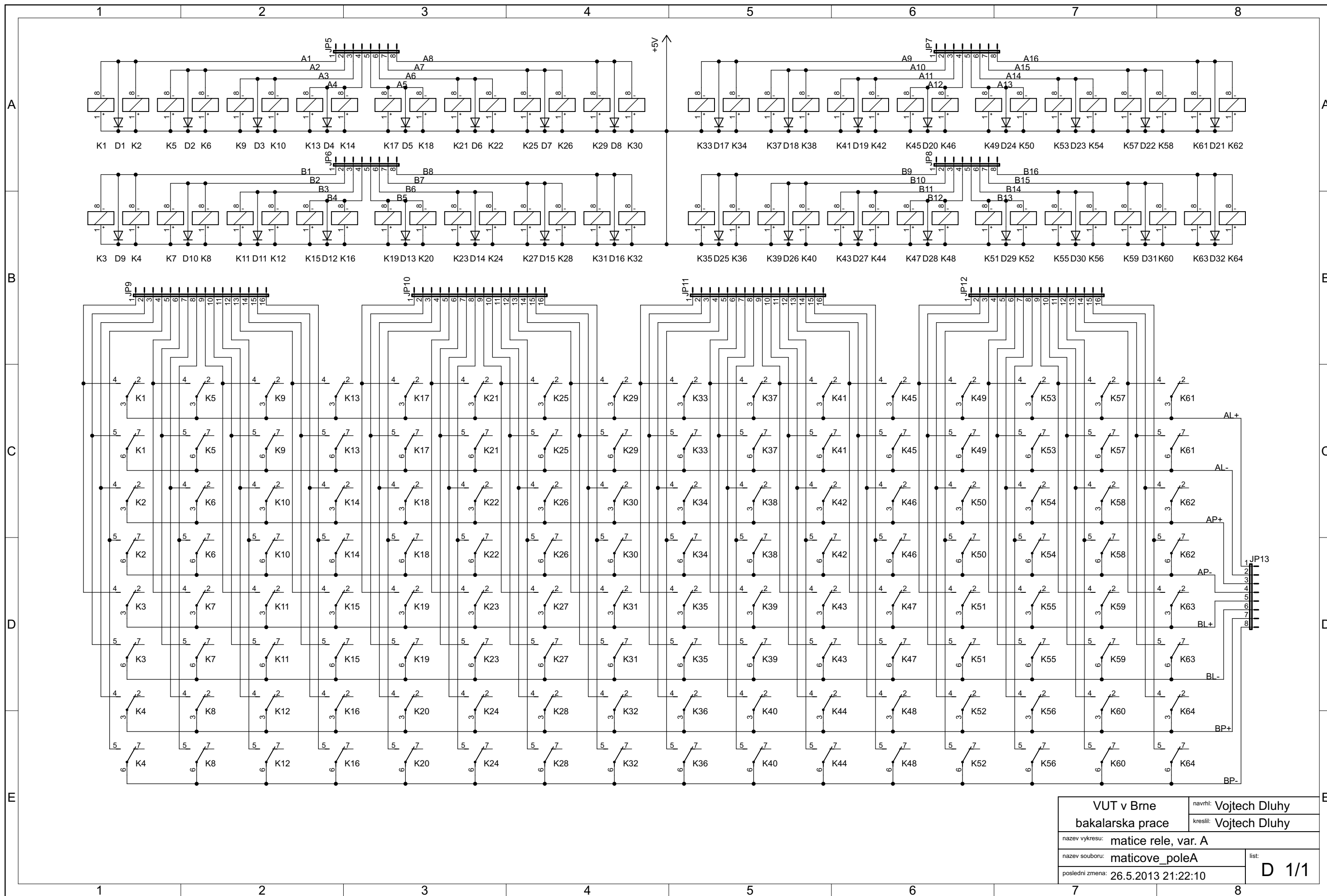


VUT v Brne bakalarska prace		navrhl: Vojtech Dluhy
		kreslil: Vojtech Dluhy
nazev vykresu: Zdroj		
nazev souboru: zdroj		list: A 1/1
posledni zmena: not saved!		

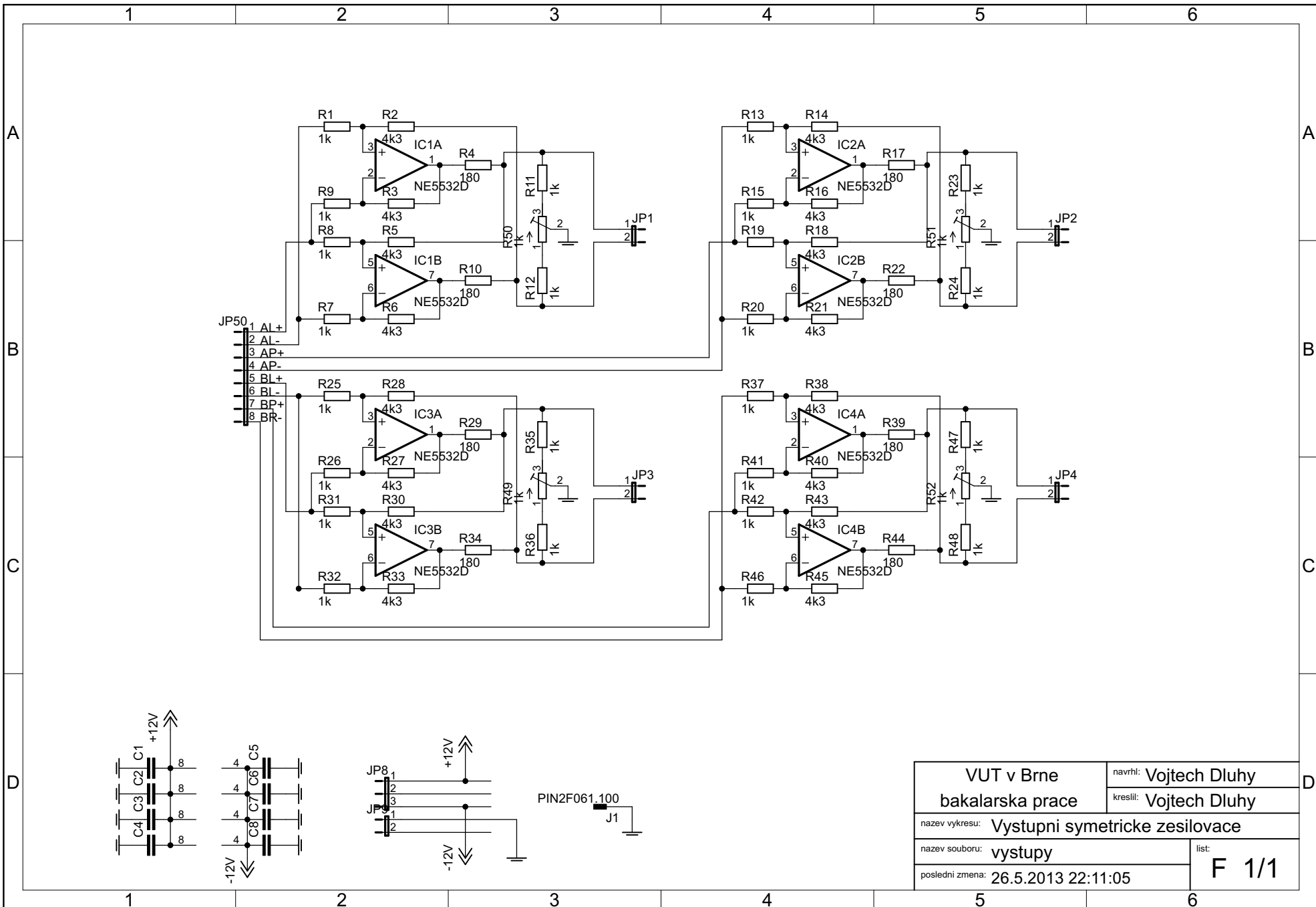




VUT v Brne		navrhl:	Vojtech Dluhy
bakalarska prace		kreslil:	Vojtech Dluhy
nazev vykresu: elektronika, var. A			
nazev souboru: maticove_poleA			list:
posledni zmena: 26.5.2013 21:22:10			C 1/1

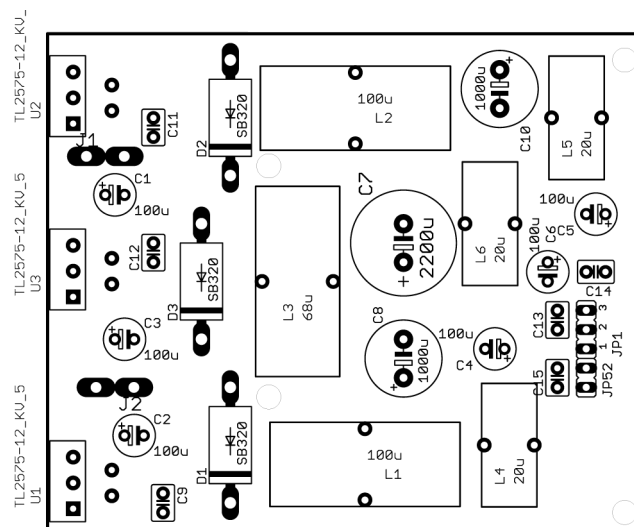


VUT v Brne		navrhil: Vojtech Dluhy
bakalarska prace		kreslil: Vojtech Dluhy
nazev vykresu: matice rele, var. A		
nazev souboru: maticove_poleA		list:
posledni zmena: 26.5.2013 21:22:10		D 1/1

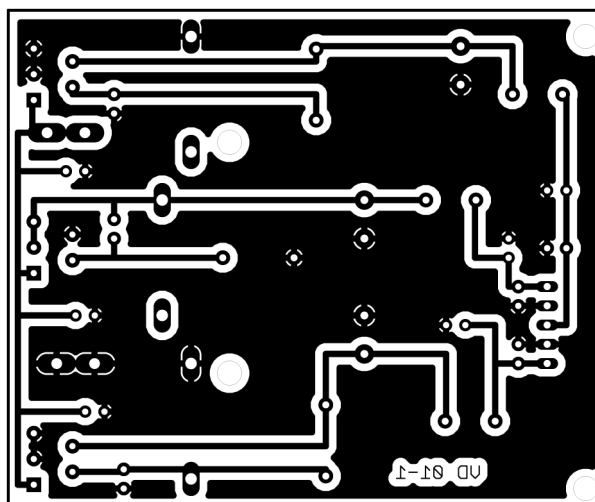


VUT v Brne		navrhl: Vojtech Dluhy
bakalarska prace		kreslil: Vojtech Dluhy
nazev vykresu:	Vystupni symetricke zesilovace	
nazev souboru:	vystupy	list: F 1/1
posledni zmena:	26.5.2013 22:11:05	

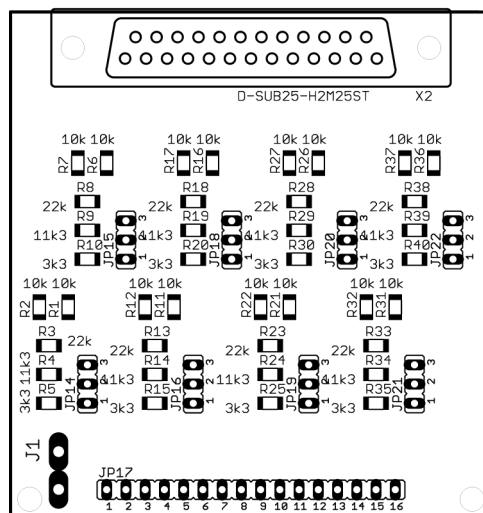
G DESKY PLOŠNÝCH SPOJŮ



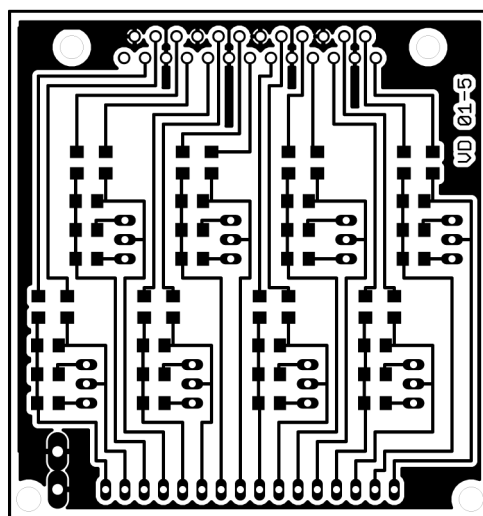
Obr. G.1: Deska zdroje - rozmístění součástek.



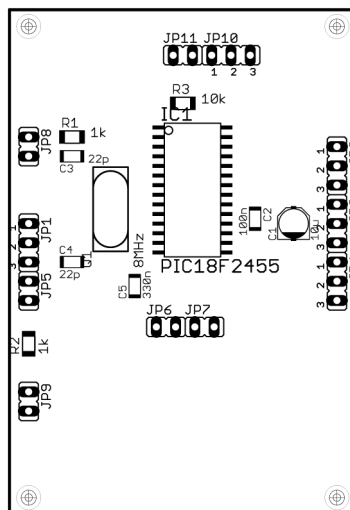
Obr. G.2: Deska zdroje - bottom.



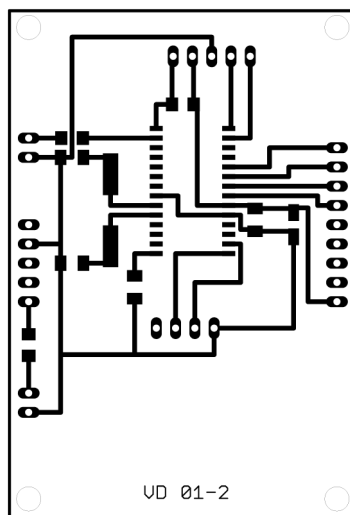
Obr. G.3: Deska útlumových článků - rozmístění součástek.



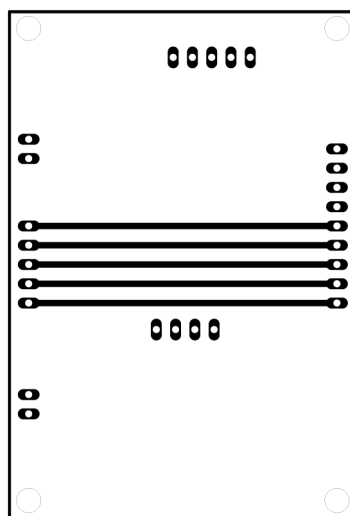
Obr. G.4: Deska útlumových článků - bottom.



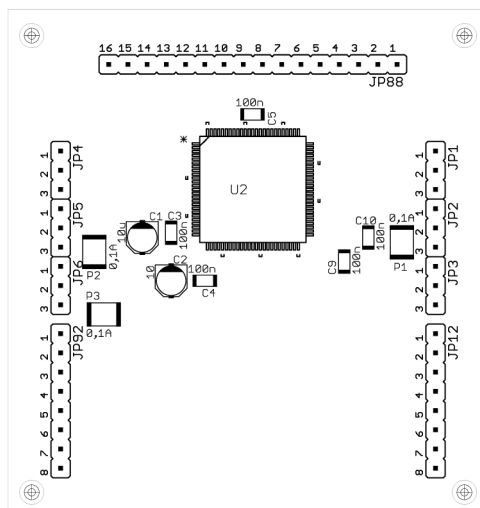
Obr. G.5: Deska procesoru - rozmístění součástek.



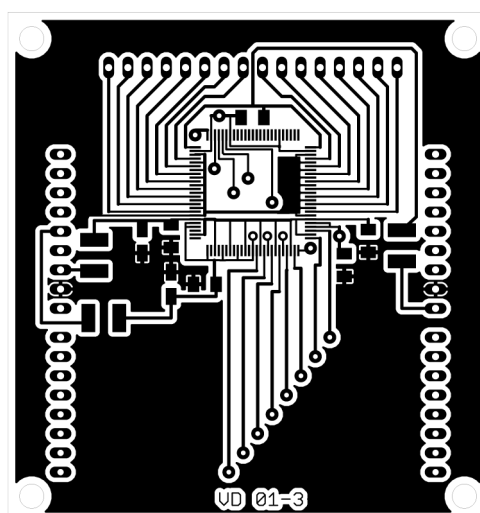
Obr. G.6: Deska procesoru - top.



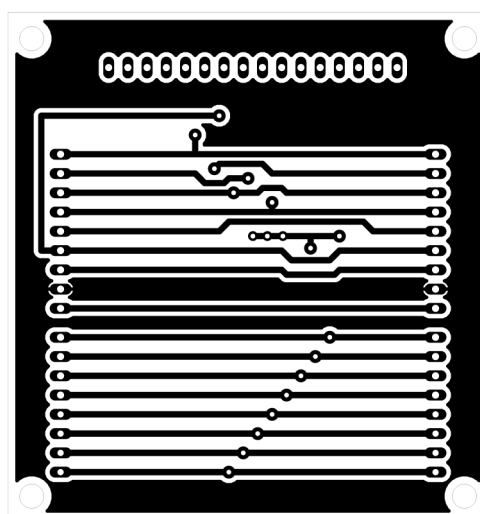
Obr. G.7: Deska procesoru - bottom.



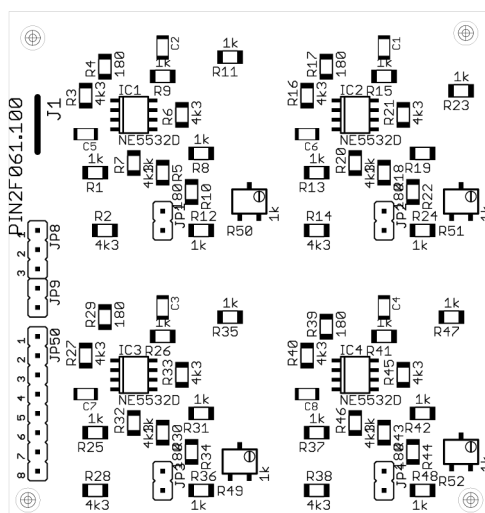
Obr. G.8: Deska matice - rozmístění součástek.



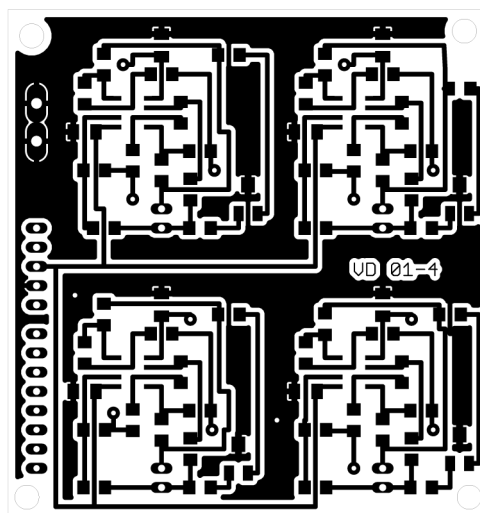
Obr. G.9: Deska matice - top.



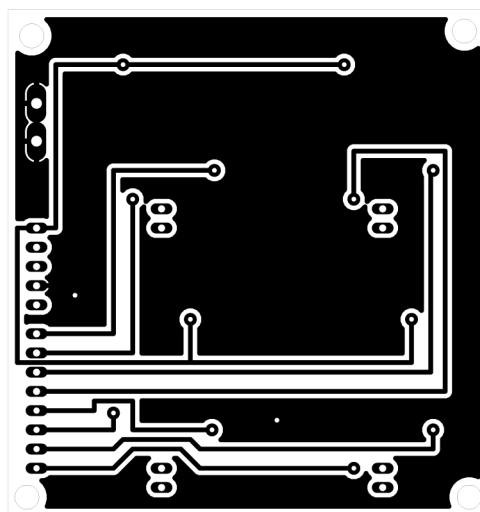
Obr. G.10: Deska matice - bottom.



Obr. G.11: Deska zesilovače - rozmístění součástek.



Obr. G.12: Deska zesilovače - top.



Obr. G.13: Deska zesilovače - bottom.